Bulletin
48
LIBRARY
JUN 29 1961
FISH & WILDLIFE SERVICE

BULLETIN OF THE JAPAN SEA REGIONAL FISHERIES RESEARCH LABORATORY

No. 8

日本海区水産研究所研究報告

第 8 号

昭和 36 年 3 月

日本海区水産研究所
新潟市万代島
JAPAN SEA REGIONAL FISHERIES
RESEARCH LABORATORY
NIIGATA, JAPAN
MARCH, 1961

MATHEMATICAL MODEL OF THE FISH POPULATION CONSIDERING THE CHANGE OF THE AVAILABILITY

ICHIRO YAMANAKA

Japan Sea Regional Fisheries Research Laboratory
Niigata, Japan

編 集 委 員 会
内橋　潔・加藤源治・野口栄三郎
深滝　弘・西村三郎・伽　信夫

利用度の変化を考慮した水産資源の数学的模型に関する研究

山　中　一　郎
（日本海区水産研究所）

Digitized by the Internet Archive
in 2025

https://archive.org/details/bulletin-japan-sea-national-fisheries-research-institute_1961-03_8

目　　次

緒　　言…… 1

第 1 章　従来の数学的模型による水産資源の取扱いの実用例にあらわれた不合理…… 2
§1.1.　資源量推定の諸方法…… 2
§1.2.　努力あたり漁獲量を用いての資源量推定法とその検討…… 3
1.2.1.　BEVERTON 法とその吟味…… 4
1.2.2.　思考実験による BEVERTON 法の考察…… 8
1.2.3.　DE LUVRY 法とその検討 …… 8
1.2.4.　努力当り漁獲量による資源解析にしばしば見られる不合理の理由の通観……11
§1.3.　努力当り漁獲量の漁期中の変化についての論議……14
§1.4.　魚群の来遊逸散の関数化の試み……14
1.4.1.　加入と逸散のパターンの比較……22

第 2 章　利用度の導入……23
§2.1.　利用度の変動例，漁場学的利用度，生物学的利用度，および時間的利用度……23
§2.2.　利用度が 1 より小さい場合の数学的模型……24
§2.3.　自然死亡率の変動を考えた場合の模型……30
§2.4.　2 つ以上の年級が混在するときの利用度の取扱い……32
§2.5.　第一種，および第二種の利用度変化……33
2.5.1.　第三種，および第四種の利用度変化……34
§2.6.　第一種，および第二種利用度変化と漁獲率……34
§3.7.　第三種利用度と漁獲率及び減少率……38
§2.8.　第四種利用度と漁獲率……39
§2.9.　利用度の変化がある場合の見かけの生残率と真の生残率……40
2.9.1.　第一種利用度の変化がある場合……40
2.9.2.　第二種利用度の変化がある場合……41
2.9.3.　第三種利用度の変化がある場合……42
2.9.4.　第四種利用度の変化がある場合……43
2.9.5.　以上各種の場合の要約……44
§2.10.　生物学的利用度の変化の数学的模型……45
§2.11.　各種利用度の実例とその直接推定法……45

第 3 章　利用度の変動，漁場の面積の変動，および漁場の移動がある場合などの努力あたり漁獲量，および資源量指数……52
§3.1.　漁場のひろがりを考えに入れた資源量指数……52
§3.2.　漁場のひろがりを考えた場合の各種利用度と努力あたり漁獲量，生残率など……54
§3.3.　漁期内に魚群の交代がある場合の漁獲率，時間的利用度……55
§3.4.　漁期が 1 年のうちのある一部分だけである場合の漁獲率……56
3.4.1.　第一種時間的利用度と第二種時間的利用度……59
§3.5.　魚群の通過があるときの努力あたり漁獲量と資源量指数（第一種時間的利用度の変化の一形式）……59
§3.6.　魚群が移動する場合の減少率……67
§3.7.　生物学的利用度の変化に対する漁獲努力の影響……68

第 4 章　利用度の変動と漁獲診断および漁況の予察……71
§4.0.　利用度解析の応用……71
§4.1.　利用度の変動と漁獲重量……71
4.1.1.　実　　例……73
§4.2.　利用度の計算による漁獲量の予想――日本海北部の大羽イワシ……77

摘要及び結論……78

文　　献……82

頭記 1

使用される主な記号

N……資　源　量（尾数）
P……　同　（重量）
C……漁　獲　尾　数
Y……漁　獲　重　量
Z……全減少係数$= -\frac{1}{N}\frac{dN}{dt} = F+M$
F……漁　獲　係　数
M……自然減少（死亡）係数
R……加　入　量
X……漁獲努力量
q……catchability coefficient（漁具能率）
s……生　残　率
E……漁　獲　率　　$E=\frac{F}{Z}(1-e^{-Z})$
t……時　間
i……漁期の小単位
r……利　用　度
c……努力あたり漁獲量

（備考）r, c 以外は，おおむね国際的とりきめ（HOLT, GULLAND, and KURITA, 1959）による．ただし，同とりきめでは catchability として $\hat{q}=\frac{F}{f}$（f は有効漁獲強度）を用いたため，これとの混同をさけるため $\hat{q}$ を用いた．この相違を特に注意する必要があるときは，本文中に特記してある．

頭記 2

しばしば実例として用いられた魚種

使用字句	和　名	学　名
イワシ，マイワシ（イワシ流網等）	マイワシ	*Sardinops melanosticta*
サバ，マサバ（サバ巾着網等）	マサバ	*Scomber japonicus*
ソウハチガレイ	ソウハチガレイ	*Cleisthenes herzensteini*
キグチ	キグチ	*Pseudosciaena manchuria*
サンマ	サンマ	*Cololabis saira*
ニギス	ニギス	*Argentina semifasciata*
アカムツ	アカムツ	*Döderleinia berycoides*
*California sardine 又はサージン		*Sardinops caerulea*
*Haddock		*Melanogrammus aeglefinus*

*以外のものは日本海産魚目録　（加藤 1956）　日水研報告　No. 4　より

緒　　言

数学的模型を用いて水産資源量を推定し，その変動，漁獲の影響などについて論じた例は，BARANOV (1918) 以来，最近の BEVERTON・HOLT (1958)，RICKER (1958) にいたるまで，その理論面でも，実際の漁業への適用でも，決して少しとしない．

日本でも，田内 (1949)，相川 (1949) を始め，久保，吉原 (1957) などにより綜述された成書，水産庁各海区水産研究所などでイワシを始め，各種の漁業に応用された例が多い．

（例えば，イワシ資源協同研究経過報告 1953, 54, 55, 57, 59 等）．

しかしながら，現在のところ，あらゆる場合にも確実に応用され，かつ満足な結果を与える方法は発見されていない．そして各々の場合に応じて，その取扱法にはある程度の工夫が加えられなくてはならず，また，取扱つて得た結果を実際の漁業のすがたからみると，必ずしも満足することのできるものが得られているとはいえない。したがつて実際には種々の方法を適用しつつ，その結果を相互に比較し，その間に妥当な共通点を見出すという方法が用いられて来た．（CLARKE・MARR 1954, 山中・伊東 1957.）

実例を用いての計算でしばしば経験されることであるが，資源量，あるいは自然減少係数，漁獲係数等，いわゆる資源特性量の推定値に，あるいは負の値，あるいは，その信頼巾がきわめて広く，妥当性を疑わしめ，実用上の意味を失わしめるようなことがある．（山中 1956, 同 1957, TAYLOR 1958.）

このようなことの理由としては，現在の調査段階においては，得られる漁獲量，漁獲努力量，年令組成等の基本的諸統計資料の値が不確実であることもその一因であり，またこれらの値のもつ意味に十分な吟味が行われなかつたことも他の因子であろう．例えば，努力あたり漁獲量は前記 BEVERTON (1954) 等で資源量に比例する量として扱われているが，漁具の規模がことなつている場合，GULLAND (1956)，山中・伊東 (1957) がおこなつたように，これに応ずるように努力量を補正する必要がある．

しかし，さらに重要なこととしては，従来の理論の殆んどすべてにおいて，魚群体と環境との関係を重視せず，また海中の魚群の運動移行という根本的事実を，その理論の中におりこむことが不十分であつたことが，上述のような不合理の大きな原因であると思われる．

たとえば，本文の最初にのべた殆んどすべての著者の理論で，自然死亡率は一定として取扱われ，また，加入量も一定である（BEVERTON 前記）又は親魚密度の関数として扱われた．（RICKER, 1954），勿論このような取扱いは，資源変動の理論を打ちたてるときには当然とられるべき過程であり，今までの理論が誤りであるとしてしりぞけることは当を得ない．しかしながら，水産資源の変動の理論づけは，現実におこなわれている漁業の管理という実用的目的を有するものである以上，実際の漁業に適用した結果が不合理であり，実用的価値が乏しいということから，今までの考え方には修正を加えることが要求される。このことは，今までの理論をたてるときに当然予期されたものであつた．

環境と魚群体との関係は，いまのべたように，従来一定，あるいは親魚の密度に依存するとした加入量や自然死亡率等を，環境従属的なものとして取扱う以外（RICKER, 1959）は加入量の環境による変動を考えた）に，漁場内外の魚の移動という立場からもみることができよう．

すなわち，魚は漁場内に静止しているものではなく，種々な環境因子に作用されて運動する．そして魚の存在する水域は必ずしも全部が漁場としてなり立つのではなく，また同一魚群が必ずしも周年漁業の対象となるものではない．

ことに回遊性魚類では，魚の分布する時間空間の中で，極めて特殊な場合のみ漁獲されるとみることさえできよう．ここに，後述するような利用度（availability）の変動をとり入れた資源変動の数学的模型を考える必要が生じて来る．

さらに，漁況の予察というような実用的立場をとつて考えると，漁獲量を左右するものは，総資源量よりは，むしろ漁獲対象となりうる量であり，この場合には，利用度の取扱が直接的に実用上の意味をもつ．

この報文はいままでの種々の資源の数学的取扱を実際の漁業に用いたときに生ずる不合理の実情を取りあげてこれを追及し，これから，魚群の一部のみが漁獲の対象となり，しかもその比率が変動する場合につい

て論じたものである．

しかし，このような立場にたつて論ずると，わが国で従来組織的におこなわれてきた各種の水産資源調査は，まだまだ欠陥が多く，ここに企てた所論の全部を十分な実例で示すことはもとよりできない．しかし，このような利用度の変動を応用して資源の実情を診断し，その予察を試みることが重要なことは，取扱つた二三の例によつても示され，現在資源研究の実施されている大部分の漁業が，利用度の変動をうけており，この機構を別の調査研究によつて明にすることがうかがわれる．

この報文を草するにあたり，常に指導と叱正を与えられた東京水産大学名誉教授，理博，田内森三郎氏，京都大学教授，農博，川上太左英氏，日本海区水産研究所長，理博，内橋潔氏，同研究所資源部長，加藤源治氏，利用部長，農博，野口栄三郎氏等に，また数値計算，図表作成などに協力された高橋静代夫人，高橋美恵子嬢等に深謝する．また一部の計算には東海区水産研究所，土井長之，鉄健司両技官のアナログ・コンピュータによる計算の労を煩したことを感謝する．また引用の資料の多くは各水産研究所沿岸資源，底魚資源等の協同研究に負うものであり，これらに従事された各研究担当者，また筆者に格別の便宜を与えられた米国カリホルニヤ海洋資源協同研究（CCOFI）担当各位の敬意を表する次第である．

第1章　従来の数学的模型による水産資源の取扱いの実用例にあらわれた不合理

§1.1. 資源量推定の諸方法

資源量の推定法は，(1) 絶対量の推定，(2) 相対的な大きさの目安となる指数の推定の2つに大別される．MARR (1954) は米国産サージン（*Sardinops caerulea*）の魚群体量を推定する方法として，

(a) 漁　獲　量
(b) 努力あたり漁獲量
(c) 実質資源量（累積年令組成）
　(virtual population or accumulated age composition)
(d) 努力量と年令組成，努力量あたり漁獲量からの計算
(e) 産卵量と平均抱卵数からの計算
(f) 標識放流による計算
(g) 魚群探査（航空機，探査船など）

等を列挙した．

これらのうち (a), (b) 及び (g) は相対的な指数のみを与えるものである．

これらのうちで，数学的模型を用いて論及されたものは (d) と (f) とである．(d) の根本的な考えは，努力当り漁獲量の値が資源量に比例するものとして，年令組成から生残率を求め，これと努力量とを比較して自然死亡率と漁獲死亡率を分離し，この比例常数を，求めた漁獲死亡率から計算するものである．

すなわち BEVERTON (1954) によれば，ひきつづく二漁期間の努力あたり漁獲量と年令組成から，同一年級について，この漁期間の生残率 s を求め

$$Z = -\log_e s$$

又は

$$-\frac{1}{N}\frac{dN}{dt} = -Z \quad \cdots\cdots (1.1)$$

によつて全減少係数 Z を，また漁獲統計から努力量 X を夫々求め

$$Z = \hat{q}X + M \quad \cdots\cdots (1.2)$$

$$\hat{q}X = F \quad \cdots\cdots (1.3)$$

という方程式中の未知数 $\hat{q}$ すなわち catchability coefficient と自然死亡係数 M を，二つ以上の Z

と X との組合せから求め，これを応用して漁獲率 E を

$$\left.\begin{aligned} E&=\frac{\hat{q}X}{Z}(1-e^{-Z})\\ Z&=M+\hat{q}X \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (1.4)$$

によつて求め，これと漁獲尾数 C から

$$N=\frac{C}{E} \quad \cdots\cdots (1.5)$$

によつて資源尾数 N を，また漁獲重量 Y から

$$P=\frac{Y}{E} \quad \cdots\cdots (1.6)$$

によつて資源重量 Y を夫々求めるものである．

また標識放流は，母資源の中に，標識魚という標本資源を設定し，再捕数と漁獲量とを用いて母資源量を推定しようとするものであり，それ自体ひとつの標本調査の性質を有するが，自然死亡率や標識の脱落率などを考えに入れると，努力当り漁獲量 c を用いる場合と殆んど同様の数学的模型となる．すなわち標識魚における全減少係数 Z は前と同じく

$$Z=F+M' \quad \cdots\cdots (1.7)$$

である．ただしこの M' は自然死亡によるもののほか，標識脱落によるものも含んでいる．

放流後 t_0 乃至 t_1 の間に漁獲される魚の全尾数 n_1 は

$$n_1=\frac{FN_0}{F+M}\left[1-e^{-(F+M')\ (t_1-t_0)}\right] \quad \cdots\cdots (1.8)$$

N_0 は放流尾数

であり，放流魚のこの間の漁獲率を E' とすれば

$$E'=\frac{n_1}{N_0}=\frac{F}{F+M'}\left[1-e^{-(F+M')\ (t_1-t_0)}\right] \quad \cdots\cdots (1.9)$$

となる．

t_1-t_0 を単位時間にとれば，(1.9) は (1.4) の M を M' に変じたものに外ならない．

資源尾数 N 及び資源重量 P は，漁獲尾数 C 又は漁獲重量 Y を夫々 E' で除して求められる．

さらに，標識を附した直後は魚の行動や，死亡率等に標識の影響が大きく，M' の値が他の時期とことなつていることも考えられるから，N_0 を直接に計算に用いるかわりに相隣る二期間の再捕尾数 $n_1\ n_2$ とその間の努力量 $X_1\ X_2$ とを用いれば，

$$\log\frac{n_1/X_1}{n_2/X_2}=M'+\hat{q}X+Q \quad \cdots\cdots (1.10)$$

となる．ここで Q はひとつの補正項であるが，無視しても大きな影響はなく，この場合 c を用いたのと全く同一となり，c のかわりに努力量あたりの再捕尾数を用いたのに外ならない．

このように，努力当り漁獲を用いる方法(d)は，標識放流による方法(f)と，その数学的模型においての根本的な相違はない．

これに対し，産卵量と抱卵数による方法(e)は漁獲量，努力量等漁獲との関係のある要因を全く含んでいない点が他の方法とことなつている．

§1.2. 努力あたり漁獲量を用いての資源量推定法とその検討

元来，“資源”という言葉は，経済学的意味をも含んでおり，このような数理的模型を取扱うに不適であるとも思われる．しかし，すでに用いた“資源尾数”“資源重量”等の用語は，魚群体の数量を示す標準用語として制定されたのでこの意味で用いることにした．

§1.2.1. BEVERTON 法とその吟味

c を用いて資源量を推定する代表的な方法は，前節でのべた BEVERTON 法（式 1.1～1.6）であり，原著者はこれを Frasor 河のベニザケに，また WIDRIG (1954) は California sardine に夫々応用した結果を発表した．

(1.2) の式で M 及び $\hat{q}$ が一定であり，Z 及び X の組合せが三つ以上求められるならば $\hat{q}$ 及び M は不偏推定値及び誤差等を求めることができる．すなわち，観測の組合せの数を n とすれば

$$\left.\begin{aligned}\hat{M}&=\frac{-\sum XZ\sum X+\sum Z\sum X^2}{n\sum X^2-(\sum X)^2}\\&=\overline{Z}-\rho(XZ)\frac{\sigma_Z}{\sigma_X}\overline{X}\\\hat{\hat{q}}&=\frac{-\sum X\sum Z+n\sum XZ}{n\sum X^2-(\sum X)^2}=\frac{\sigma_Z}{\sigma_X}\rho(XZ)\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(1.11)$$

$\hat{}$ は不偏推定値

また

$$\left.\begin{aligned}Var\hat{M}&=\frac{n(1-\rho^2_{XZ})(\sigma^2_Z+\overline{Z}^2)}{(n-1)(n-2)}\left(1+\frac{1}{C_{X^2}}\right)\\Var\hat{\hat{q}}&=\hat{q}^2\ \frac{1}{n-2}\left(\frac{1-\rho^2_{XZ}}{\rho^2_{XZ}}\right)\end{aligned}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(1.12)$$

ここで $C_X=\frac{\sigma_X}{\overline{X}}$，また $\rho(XZ)$ は X と Z の相関係数である．

これによつて示されることは，これらの推定値の精度を望むためには (1)漁獲努力量 X と全減少係数 Z との相関が高いこと，(2) 観測年数 n が大であること，(3) 努力量の変動係数が大であること，等が必要である．

しかしながら，我国の漁業にこの方法を応用して満足な結果を得た例はむしろ少い．まず(1)については，たとえ自然減少率の値が高くとも，これが一定であり，しかも総減少係数，努力量の双方とも正確さの高いものであれば，この相関係数が十分高い値をとりうることは，思考実験によつて後章で示されるとおりである（YAMANAKA, 1957）．したがつて，この相関係数の値が低いことは，自然死亡率に比して漁獲死亡率の方が高いことを必ずしも意味するものではなく，この点ややもすれば誤解を招き易い点として注意を要する．

しかしながら現状においては，自然減少係数の値がたとえ一定であるとしても，諸統計量，ことに年令組成から求めた生残率，努力量等の資料の値はかなりの誤差を含むものであり，そのためにこの相関係数の値が低下する．

また(2)の条件と(3)の条件とは両立することが困難である．すなわち，n の値を大にすると，M の値がこの間に一定であるという仮定が疑わしくなる．自然死亡率の原因としては，RICKER (1954) ののべたように，他魚種による食害，又は食餌量等の環境に依存するもの，また資源の量又は密度のみに依存するもの等が考えられるが，いずれにせよ，資料が長期にわたるほど，この値を一定と考える根拠が乏しくなる．また，(3)についても，漁獲努力量の値が大幅に変化するのは，例えば労働ストライキ（米国にしばしば見受けられる）等による短期の人為的社会変動，あるいは天候による出漁船数の変動等が考えられるが，漁業が安定している限り，この変動はそれほど大きくなることは考えられず，これが大であることは，漁業のおこなわれている種々の条件が変化していることをも意味し，$\hat{q}$ や M を一定としておくことは(2)と同じく不合理である．

我国の漁業で実際に適用した二，三の例についてこの点を検討しよう．

（例１）　日本海西南海区以東底曳網漁業

毎月の総曳網回数，総漁獲重量から夫々の月の１曳網当漁獲量を求め，前年との比によつて月単位に総減少係数を求め，これと曳網数を用いて式（1．2）を応用し M，$\hat{q}$ 及びその変動範囲を求めた結果を示す．（山中，1956）

第 1 表　日本海西南海区以東底曳漁業における漁具能率$\hat{q}$，*具自然死亡係数M，及びその変動（全魚種）

漁　　期	$\hat{q}$	M	$\sigma_{\hat{q}}/\hat{q}$	σ_M
1948～49	0.065	−0.24	0.48	1.15
49～50	0.058	−0.20	1.05	1.30
50～51	0.044	−0.58	0.75	1.90
51～52	0.014	−0.58	0.68	1.31
52～53	0.052	−0.16	2.13	0.80
53～54	0.040	−0.13	1.81	1.15

*　標準定義とややことなる．巻頭の附表に注意

$\sigma_{\hat{q}}/\hat{q}$ の値は約40%乃至200%以上，また σ_M の値も１をこえ，M の推定値に負数が得られている．

この場合，毎月の c の値は，底曳網でとられた全魚種の合計についてであり，漁場への来遊逸散の様子の魚種による相違によつて M $\hat{q}$ 等の意味を複雑なものとし，これらを一定とおくことの不合理性を生ぜしめることが一因であろう．

（例２）　同じく日本海西南海区以東底曳網漁業（ただしソウハチガレイについて）

前例と同一資料のうち，ソウハチガレイ（*Cleisthenes herzensteini*）１魚種だけをとり，１漁期（９～５月）を通じての c の値と，年令組成から求めた Z と，１漁期を通しての曳網数から同じく年単位の M と $\hat{q}$ を求めた．（1949–56年の資料）（山中 1956 ）（第２表）

第 2 表　日本海西南海区ソウハチガレイの総減少係数および努力量
（単位は曳網数）

年　　次	Z	X
1949～50	1.47	30.5万
50～51	2.20	32.9
51～52	1.42	33.6
52～53	1.66	36.8
53～54	2.04	37.5
54～55	1.61	29.1
55～56	1.14	27.5

この場合

$n=7$　$\rho=0.31$　　$\hat{M}=0.31$　　$\sigma_M=1.4$　　$C_X=0.3$

$\hat{\hat{q}}=0.043$　　$\sigma_{\hat{q}}/\hat{q}=0.037$

となり，資源量や漁獲率を推定するだけの目的には，この値は必ずしも不合理ではないが，漁業の資源におよぼす影響を診断するためには，この精度は十分であるとはいえない．

（例３）　日本海大羽マイワシ（山中・伊東，1957）

努力量として毎年漁期の流網航海数を，また総減少係数としては航海当漁獲尾数と年令組成により，２才

以上の魚の生残率から求めた値を用いた．〔西区（福井—山口の諸県）は1952—58年，北区，(青森—石川)は1951—58年〕（第3表）

第 3 表　日本海大羽イワシ流網漁業の努力量（航海数）および総減少係数

年	北区		西区	
	X (100回)	Z	X (100回)	Z
1951	342	0.48		
52	427	0.25	356	0.55
53	358	0.20	419	0.71
54	378	1.35	782	1.55
55	422	0.92	448	0.16
56	385	0.62	* 898	0.68
57	343	0.76	* 1,104	1.22
58	294	0.53	* 897	0.78

* 巾着網は，漁獲をも含む，流網との c の比を求め大羽イワシ漁期中の巾着網の漁獲努力量を GULLAND (1956) の方法で流網に換算した．

結果は，

日本海西区で

$$n=7 \qquad \hat{M}=0.22 \qquad \sigma_M=0.94 \qquad \hat{q}=0.883\times10^{-3} \qquad \frac{\sigma_q}{\hat{q}}=0.11$$

$$\sigma_X=0.28 \qquad \rho(XZ)=0.59$$

同北区で

$$n=8 \qquad \hat{M}=0.32 \qquad \sigma_M=0.72 \qquad \hat{q}=0.888 \qquad \frac{\sigma_q}{\hat{q}}=1.68$$

$$\sigma_X=0.04 \qquad \rho(XZ)=0.11$$

この値の妥当性についてはソウハチガレイの場合と同様である．

（例4）　東シナ海小イワシ（巾着網）

X として巾着網の月別航海数を，c として同じく月別航海当漁獲尾数をとり，（例1）で示した以東底曳と同様な取扱いをおこなつた．（第4表）

第 4 表　東シナ海小イワシ巾着網漁業数における M 及び q の推定値およびその精度

	$\hat{M}$	σ_M	$\hat{q}$	$\frac{\sigma_q}{\hat{q}}$
県各及び年次				
長　崎(1953)	−0.21	0.48	0.002	15.0
〃　(1954)	0.22	0.31	0.00017	2.8
鹿児島(1953)	0.49	1.10	0.000045	2.8

M, q の精定値はいずれもきわめて不確かである．

この他にも，Mや$\hat{q}$に負の値を示す例はしばしばある（山中・伊東　1957，土井 1956）．

むしろ，漁業に適切な判断を与えうるにたりると思われる値がこの方法で得られる例の方が稀である．

n の値が小さなことはこの一因であろう．しかし長年にわたる資料のある諸外国でも，このような例はしばしば見うけられる．

前にのべたように，TAYLOR (1957) は米国大西洋岸 Georges Bank の haddock で1932—51年の資料により同様な計算をおこなつたが，しばしば M や $\hat{q}$ に負の値を生じ，この試みが成功とはいいえないといつている．

また California sardine について YAMANAKA （未発表）は1932—56 の資料を用いて同様な計算をおこない（第5表），

(a) この期間全体をひとまとめにした場合

$M=0.31$　$\sigma_M=0.51$　$\sigma_X=0.76$　$\hat{q}=0.67\times10^{-3}$　$\sigma_{\hat{q}}/\hat{q}=1.3$　$\rho_{(XZ)}=0.32$

(b) 1932—35年について

$M=0.031$　$\sigma_M=0.35$　$\sigma_X=0.67$　$\hat{q}=1.304\times10^{-3}$　$\sigma_{\hat{q}}/\hat{q}=2.1$　$\rho_{(XZ)}=0.63$

(c) 1946—54年について

$M=0.45$　$\sigma_M=2.3$　$\sigma_X=0.98$　$\hat{q}=1.00\times10^{-3}$　$\sigma_{\hat{q}}/\hat{q}=2.7$　$\rho_{(XZ)}=0.14$

で，M の推定値は負の範囲におよんでいる．

前述の TAYLOR のごとく，このように負の推定値をえたような場合は，“失敗例”として取扱われて発表されないことも多く，実際にはもつと数多くの例が埋れていることであろう．

このような不合理が現われる原因として考えられるものについて，後章でくわしくのべることとする．

第 5 表　カリホルニヤ，サージン漁業の努力量と総減少係数

漁　　期	X （船月）	Z
1932～33	299	0.390
33～34	392	0.147
34～35	476	0.910
35～36	570	0.252
36～37	807	1.430
37～38	867	1.065
38～39	958	0.513
39～40	894	1.339
40～41	763	1.605
41～42	921	0.514
42～43	742	0.711
43～44	824	0.740
44～45	906	0.923
45～46	881	2.250
46～47	1,212	1.390
47～48	1,215	0.922
48～49	711	0.563
49～50	625	1.453
50～51	1,499	0.985
51～52	948	3.340
52～53	300	1.400
53～54	930	0.685

1951年までは WIDRIG (1954)
その後は YAMANAKA（未発表）

§1.2.2. 思考実験による BEVERTON 法の考察

最初にある数の魚 N_0 がある水域に存在し，$\hat{q}$ や M が一定であるとして，X を漁期中，色々に変えてそのときの漁獲量と努力あたり漁獲量等を計算し，次にはこのようにして求めた値から逆に M $\hat{q}$ N_0 等を計算すると第6表のようになる．

第 6 表　$N_0=100$　$M=0.5$　$\hat{q}=0.002$ また X は20から 100までの間を変化する場合の思考実験による N 及び c の変化と，これから計算した Z

i	N	X	F	Z	s	$\frac{1-e^{-Z}}{Z}$	E	C	c	Z^*
1	100.00	100	0.20	0.70	0.497	0.719	0.144	14.382	0.144	0.625
2	49.66	20	0.04	0.54	0.583	0.773	0.0309	1.534	0.0767	0.567
3	28.94	50	0.10	0.60	0.549	0.752	0.0752	2.176	0.0435	0.582
4	15.88	30	0.06	0.56	0.571	0.766	0.0459	0.729	0.0243	0.594
5	9.07	70	0.14	0.64	0.527	0.739	0.103	0.0937	0.0134	0.667
6	4.78	100	0.20	0.70	0.497	0.719	0.143	0.0689	0.00688	0.637
7	2.38	30	0.06	0.56	0.571	0.766	0.0459	0.0109	0.00364	0.578
8	1.36	50	0.10	0.60	0.549	0.752	0.0752	0.0102	0.0204	

$$Z^*=-\log_e\frac{C_{i+1}}{C_i}$$

これより逆算すると　$\hat{M}=0.58\pm0.018$(C.I.,$\alpha=0.05$)

$\hat{q}=0.08\pm0.06$（　〃　）

このように，自然死亡係数の値が漁獲死亡係数に比して高い場合であつても，これが一定のものであつて変動又は誤差を伴わないものであれば，実用的な推定値をうることは前にも指摘したとおりである．

しかしながら，実際問題としては，自然死亡係数が高い場合は，その変動もやはり大であることが予想される．

§1.2.3. DE LURY 法とその検討

DE LURY (1943) は，努力あたり漁獲量と，努力量あるいは漁獲量累積値を用いて，資源量や catchabilty を計算する方法を示した．

これには，

(a) 初期の資源量を N，ある時期 i の努力量を X_i，ある期間 i までの努力量の累積値を ΣXi，第 i 漁期の漁獲量を Ci とすれば，

$$\log\frac{C_i}{X_i}=\log(aN)-a\Sigma X_i \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.13)$$

a は catchabilityに相当する．

各々の i についてこの方程式を解き，a と N とを推定することができた．

(b) 努力量の累積値のかわりに漁獲量の累積値 ΣCi を求め

$$\frac{C_i}{X_i}=N_0-\Sigma C_i \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1.14)$$

としても k，N_0 を求めることができる．この場合 $k=\frac{1}{a}$ となる．

どちらの方法であつても，$\frac{C_i}{X_i}$ はそのときの資源量に比例するとして考えられている．

すなわち，(a)においては，

$$N=\frac{1}{a}\ \frac{C}{X}=\frac{1}{a}c \quad \cdots\cdots(1.15)$$

(b)においては

$$N=k\frac{C}{X}=kC \quad \cdots\cdots(1.16)$$

となり$\frac{1}{a}$及び k が夫々の比例常数となる．

これらの方法は，池のような有限水域で，かつ漁期中の自然死亡も加入もない場合に，漁期を月，旬などの小単位に区切つて c の値が得られる場合には適される．そして，実際の有限水域で実施した模型実験（大島，1953）では実測値と推定値がよく一致している．

自然死亡を考入にいれてないことに対しては，若干の修正を加えることにより，このような場合，および2種類以上の漁獲努力が作用する場合に適用される．

同じく De Lury（同）によれば，それぞれの種類の漁獲努力を X'_i，X''_i として，

$$\log C_i=\log(aN_0)-a\sum_{i=1}^{i-1}X'_i-b\sum_{i=1}^{i-1}X_i'' \quad \cdots\cdots(1.17)$$

を前と同様に解くことができる．また自然死亡は，漁期間中常に一定の努力量が作用しているものとして考えることができるから，

$$\log C_i=\log(aN_0)-a\sum_{i=1}^{i-1}X_i-Mi \quad \cdots\cdots(1.18)$$

とすることができる．

漁期の最初 $i=0$ における努力あたり漁獲量の値を C_0 とすれば，

$$\log C_0=\log(aN_o) \quad \cdots\cdots(1.19)$$

であるから

$$-\log\frac{C_o}{C_i}=a\Sigma X_i+M_i$$

すなわち

$$-\frac{1}{i}\log\frac{C_o}{Ci}=a\overline{X}_i+M \quad \cdots\cdots(1.20)$$

となる．

但し，$\overline{X_i}$ は i までの努力量の平均値である．

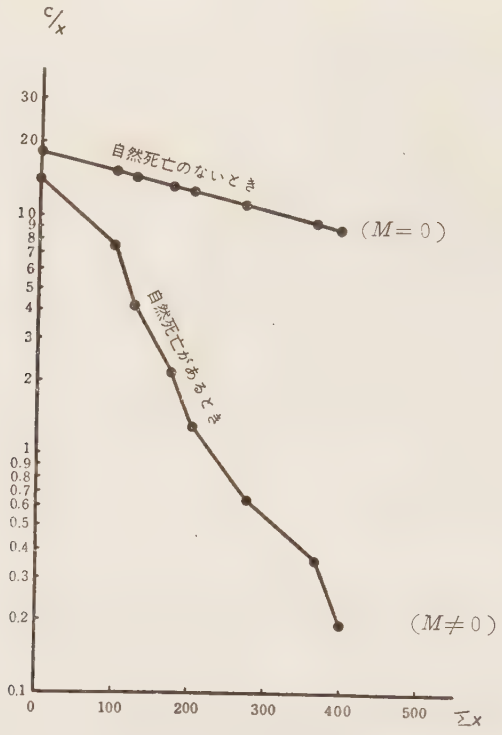
これは，式（1．2）と同じ形であり，その係数 M および a の推定精度についても，（1.2）の M および $\hat{b}$ の精度を論じたと同様な議論がなりたつ．

すなわち，i の数（漁期の小区分数）を増大するにしたがつて $\overline{X}_i$ は次第に $\overline{X}$（全漁期を通じての平均）に近き，$\overline{X_i}$ の変動が小さくなる．また（1.20）の左辺についても同様である．

したがつて i を増大させ，漁期の切り方を細くしても，$\overline{X}_i$ と$\frac{1}{i}\log C_0/C_i=\frac{1}{i}Z$ との相関を高めることも，また推定値の精度の向上も期待することはできない．ことに，X の時間的変動が僅少である場合は，a と M との分離は困難であり，さらに X_i が一定のときは全く不可能となる．

上述の思考実験の結果を用い，このことを図解すると第1図のようになる．

この図で，自然死亡のあるときは下方の曲線，ないときは上方の曲線で示されるが，漁獲死亡率は共に等しいとした．上方の曲線は実は直線である．



第 1 図　思考実験による累積努力量と努力あたり漁獲量の比較

しかしながら，もし資料が十分正確でないならば，下方の曲線に強いて直線をあてはめた場合，真の直線からのずれが十分に分離出来ず，自然死亡率のないときの公式を誤用することもありうる．この場合には，a の値は過大，また N の値は過小にそれぞれ推定される．そしてこのように，資料の不正確なときには，点のばらつきによつて，自然死亡率の推定値を負にすることもあろう．

今の実例に用いられた数値を再び用いて逆に推定すると，

$$\log C_i = \log aN - a\sum X_i - M_i \quad \cdots\cdots (1.18)$$

と同じ 95% C. I. の上，下限および不偏推定値は，

$\hat{N}_0$	787 (2,780～130)	実際の値　1,000
$\hat{M}$	0.49 (0.55～0.42)	0.50
$\hat{a}$	0.0079 (0.021～0.008)	0.02

一方，自然死亡率を無視して直線を当てはめると

$\hat{N}_0 = 63.9$ (96～51)

$\hat{a} = 0.110$　C. I. $= \pm 0.006$

で $\hat{N}$ は著しく過少に，また $\hat{a}$ は過大に，それぞれ推定される．

このように DE LURY の方法は，この適用に細心の注意を必要とする．

以下，このような偏りの生ずる事情について，さらにくわしく論じよう．

§1.2.4. 努力当り漁獲量による資源解析にしばしば見られる不合理の理由の通観

上述のいくつかの例に示されたように，BEVERTON 又は DE LURY 等の方法で，資源量，自然および漁獲死亡率などを求めるとき，得られた推定値の精度がきわめて悪く，資源の現状診断というような実用的にほど遠いことがしばしばある．そしてまた，

(1) Mが負で$\hat{q}$の値が極めて高くなる．

(2) Mが甚だ高く$\hat{q}$の値が負になる．

等，現実に起りえない値を示すこともある．

これらの原因について考えてみると，

(1) 各種統計値の不正確さ； 漁獲量，努力量などはもとより，全減少率 Z などは，漁獲物からの標本調査によつて求められた年令組成などから間接に得られるものであり，これを推定するまでの各段階で生ずる誤差が，かなり大きくなることも考えられる．

そして漁期の区切りを年より月，旬，日などと，細くするほど，これらの各統計値の誤差は大きくなりやすい．

(2) 努力あたり漁獲量に対する基本仮定； これが資源量に比例するとしたが，実は後章でものべるとおり，これは努力量の存在する時空での魚の平均密度にすぎず，その漁場全域，さらに漁場以外の魚の全分布域までの面積を考えに入れない限り，単純に資源量に比例するとしてみることはできない．

(3) 自然死亡率や catchability を定数とした仮定； RICKER (1954) ののべたように，自然死亡率の原因は色々考えられるが，それらはいずれも一定としてばかり考えられず，また，この中には漁場中からの逸散をも併せて考えられている．

また漁具能率 (catchability) は，同一種類，同一量の努力量であつても，その性能が乗組員の技能や操業時の情況，あるいはそのときの魚群の状態の変化などによつて変化することもあろう．

(4) 見かけの総減少係数の値； 漁場への魚の出入がある場合，単なる見かけ上の誤差として取扱われるもののほか，さらに複雑な形の出入があれば，Z の見かけの値が負となり（来遊があるとき）あるいは実際より大になる（逸散のあるとき）などのことがある．これらは系統的誤差としての性質を有し，元来，時系列的な自己相関のない場合にのみ用いうる最小自乗法の誤用となる．

一例として，日本海西南海区以東底曳網漁業の月別曳網当り漁獲量を第7表に示した．

月別生残率が1より大きく，Z が負となる月がしばしばみられる．第1表で示したように，Mの推定値に負の値が得られたのはこのためである．

この場合，表示された努力当り漁獲量は，種々の魚についての合計重量で，魚群の来遊逸散，漁期中の魚種の転換や，漁場の移動などによつて複雑な様相を呈している．

第 7 表　日本海西南海区以東底曳漁業月別努力量（曳網数）と努力当り漁獲量

単位　X…10,000回　　c…kg

年	1948～49		1949～50		1950～51		1951～52		1952～53		1953～54	
月	X	c	X	c	X	c	X	c	X	c	X	c
Sept.	1.5	150.0	2.5	134.2	2.4	139.8	2.5	150.0	3.2	92.6	1.9	147.7
Oct.	4.1	105.0	4.3	145.9	5.2	97.5	5.6	101.2	5.2	98.3	3.9	127.5
Nov.	3.8	118.8	3.9	110.2	5.0	102.4	4.7	111.4	4.9	107.6	3.8	139.5
Dec.	4.2	111.7	3.3	158.3	4.0	132.8	4.4	106.5	4.0	127.8	3.4	156.8
Jan.	2.8	107.2	3.5	106.1	3.9	134.6	3.4	139.5	3.5	145.5	2.7	183.8
Feb.	2.7	132.0	3.3	105.8	3.6	157.5	2.9	187.5	3.8	155.6	3.0	173.2
Mar.	4.5	145.8	4.4	141.2	4.8	153.3	5.3	136.9	4.6	175.8	3.4	190.5
Apr.	4.1	132.0			3.1	198.7	4.3	133.5	4.6	181.8	3.6	168.0

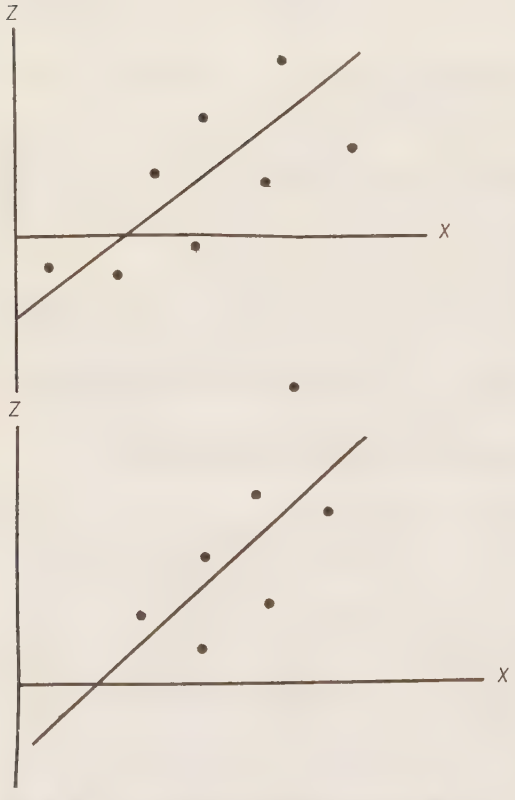
漁　期	1954～55		1955～56		1956～57		1957～58	
月	X	c	X	c	X	c	X	c
Sept.	2.2	161.6	2.7	150.0	2.7	186.8	2.7	180.0
Oct.	3.4	134.6	3.3	129.0	3.8	209.6	3.9	161.6
Nov.	3.1	156.3	3.6	143.6	3.7	165.0	4.0	161.6
Dec.	2.9	160.9	3.5	150.7	3.2	165.3	3.5	161.6
Jan.	2.5	170.6	2.7	183.8	3.4	187.8	3.2	166.9
Feb.	2.9	184.1	4.6	99.0	2.9	196.5	3.2	206.2
Mar.	3.7	173.2	3.5	185.2	3.7	198.0	3.7	213.3
Apr.	3.8	181.1	3.5	201.3	3.9	177.0	3.5	209.6

数学的模型を用いてこれらの事情をのべると，

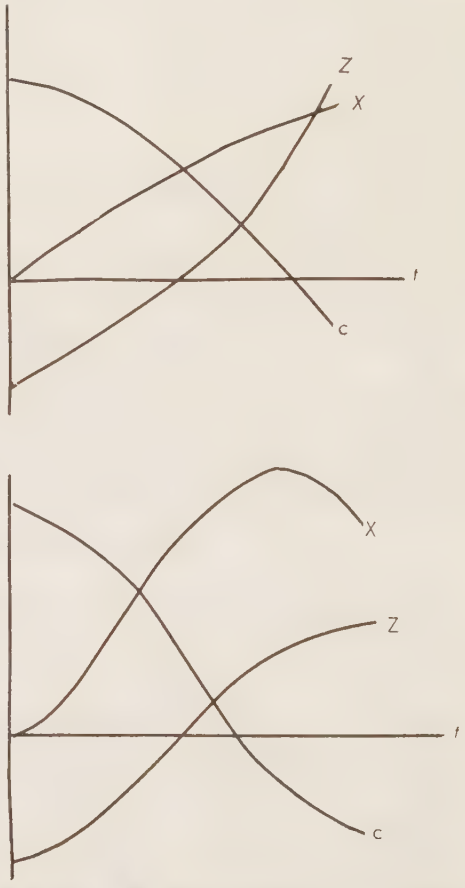
(A)　自然死亡係数 M に負数の推定値が得られる場合（第2図，第3図）

これは，努力量 X が小さいときに見かけの全減少係数 Z の値が小であつたり（上図），または X が大なときに Z の値が大であつたりして（下図），これらが全体の推定に強くひびくような場合におこる．

漁期が始つたときに加入がまだ完結しないで漁期中にさらに来遊がつづいたり，また漁期の途中で急に魚



第 2 図　負の自然死亡率を生ずるときの努力量 X と総減少係数 Z



第 3 図　負の自然死亡率を生ずるときの努力あたり漁獲量 C，努力量 X，および総減少係数 Z の時間的変化

の大部分が漁場に来遊が行われたりすると，見かけ上の Z の値が負となることがある．このようなことが努力量の小さい時期におこると，M の推定値を負にする原因となる．

漁期を週，日等に細く区切つて各期について X, c, Z などを求めた場合，最初はまだ出漁船数が十分でなく，また漁場への来遊が不十分あるいは漁具の性能をまだ十分に発揮していないために c の値が低く，そのために Z の値が負となることがある．

また逆に，多くの漁船が出漁しているときに急激に魚が逸散したりして c の値が急減し，見かけ上の Z の値に急増するときにも，やはり今と同様な結果が生ずる．

（例1） 前述の日本海西南海区底曳網漁業では，漁期最初の9月にはまだ出漁船数が少く，春季になつてカレイ類等の来遊があるため，Z の見掛けの値が負になることが多い．

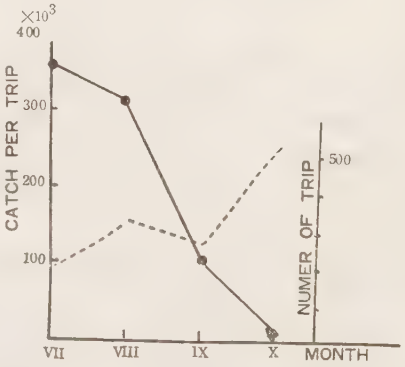
（例2） 福岡県の1954年の巾着網によるマイワシ漁業では，漁期の終りの10月に Z の値が非常に高い．（第4図）

このような例は他にもしばしば見られる．

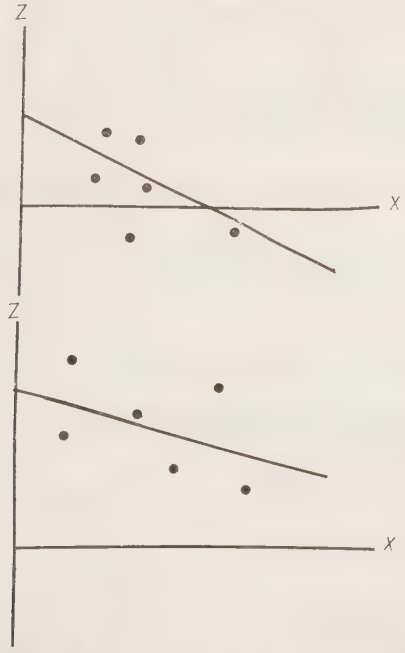
(B) **catchability** および漁獲死亡率が負になる場合（第5図，第6図）

このような事がおこるのは(A)と反対の事情による．すなわち X が小さいときに Z の値が大であり，Xが大きいときに Z が小さい場合である．

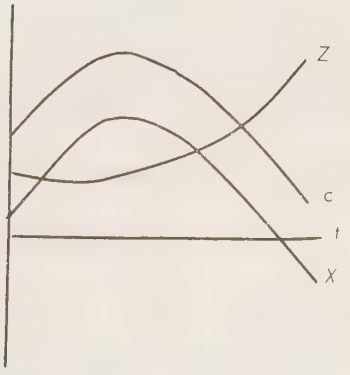
魚の漁場への来遊よりも漁船の集中が早く，初漁期に船が多いのに魚が集つていない場合，又は終漁期に逸散が大で Z の値が大であつて，僅かの船がここに留つているような場合，盛漁期に出漁船数が多く，このときに加入が高まつたりするような場合にこいうたことが起り得る．



第 4 図　1954年福岡県巾着網によるイワシ漁業の努力当り漁獲量（実線）および努力量（点線）の月変化



第 5 図　負の自然死亡率を示すときの努力量および総減少係数



第 6 図　負の漁獲死亡率を示すときの努力当り漁獲量，努力量および総減少係数の時間的変化

（例1） 前述の日本海大羽イワシ流網漁業（第3表）で X が大であるときに Z の値が小さいことがあり，1954までのみの資料では $\hat{q}$ の値が負となつている．（山中・伊東 1957）

（例2） 宮崎県で巾着網による小イワシ漁業（1954）では，漁期の末期に X の急激な減少と同時に Z が大きい値を示す．

これらの事情を，加入量，逸散量，努力量，減少係数などのパターンから図示すると第3図（M が負になる場合），および第6図（$\hat{q}$ が負になる場合）となる．

この外にも，まだいろいろのパターンが考えられることは勿論である．

§1.3. 努力当り漁獲量の漁期中の変化についての論議

漁期がいかにして始り，また終るかについて色々の型が考えられる：

太平洋側のサンマ漁や，以東底曳漁業のように，漁業調整上の理由で制度化されている場合，また米国の sardine のような業者間の協約によるものもある．これらは，魚の海中における分布とは必ずしも関係しないが，普通には漁場への来遊によつて漁期が始まり，漁場からの逸散によつて終了するとみることができよう．

したがつて，漁期の両端では，そのときに海中に分布する魚の全量に対する漁場内の量の割合，すなわち利用度が小になり，盛漁期では大になるのが一般である．そのため，漁期の始めから盛期に向つては，漁場への来遊量の増大という形で努力量当り漁獲量の値に増加する作用が働き，自然減少および漁獲死亡による減少を補い，時にはかえつてこれを増大させることもあるが，盛期の後では，逸散による自然減少の増大が現われる．しかしながら，もし自然減少と漁獲死亡との両要因が漁期を通じて作用するものであれば，c の値は全体として減少傾向を示すであろう．

これに対し，漁期が必ずしも漁場への来遊によつて定つているのでない漁業では，漁期全体を通じて負の減少率が現われる場合もある．

前述のように，日本海西南海区の以東底曳漁業にこのような例がよく見うけられる．

前に §1.2.4. にのべたように，負の減少係数というような一見不合理な値を得る理由として，(1)資料の不正確さ，(2)努力あたり漁獲量の意義の不確実さ，(3)自然死亡率及び catchability の変化，(4)漁場への来遊逸散などの4つの原因を考えた．(1)については当然であつて議論の外であり，(3)についても1漁期中の小区間については，漁業の種類によつては相違もあろうが，これらの数値の変動はあまり考える必要もないであろう．また(2)についてはすでにのべたように，c の値を資源量に比例するものとして考えるためには，漁場の面積を考えに入れなくてはならない．

漁期の両端で，出漁船が少ないと，当然漁場として利用される面積も少なく，海中の魚群に対する利用度が小さくなつてくる．

このように，1つの漁期中の C の変化を論ずる場合，第2章でくわしくのべるとおり，利用度の変化は推定の変動要因として大きく作用してくる．

§1.4. 魚群の来遊逸散の関数化の試み

一般に漁期の途中に漁場への来遊逸散があつて，これを $R_{(t)}$ という形の時間の関数として示すこととする．

自然死亡係数と，漁獲死亡係数との和，すなわち総減少係数 Z は次の形になる．

$$\frac{dN}{dt}=-ZN+R_{(t)} \cdots\cdots (1.21)$$

この方程式の解は

$$N=e^{-Zt}\left(C_0+\int R_{(t)}e^{Zt}dt\right) \cdots\cdots (1.22)$$

となる．

ここで $R_{(t)}$ の形はさきにのべたように，非常に複雑となるであろう．しかしながら，同一漁業が同一魚

種のみを獲つているような場合は，年により，多少の遅速があつても，ほぼ年々同一時期におこるような週期性を有しているものであろうから，簡単な形として

$$R=R_0\sin\omega t \quad \omega=\frac{2\pi}{T} \qquad \cdots\cdots(1.23)$$

T は週期

という単弦振動の形をとるとして考えることができる．

このとき（1.22）で示された解は

$$C_0e^{-Zt}+R_0\frac{Z\sin\omega t-\omega\cos\omega t}{Z^2+\omega^2} \qquad \cdots\cdots(1.24)$$

となる．

もし $t=0$ のとき $N=N_0$ という初期条件をいれると

$$N_0=C_0-\frac{R_0\omega}{Z^2+\omega^2}$$

$$C_0=N_0+\frac{R_0\omega}{Z^2+\omega^2} \qquad \cdots\cdots(1.25)$$

すなわち，

$$N=\left(N_0+\frac{R_0\omega}{Z^2+\omega^2}\right)e^{-Zt}+R_0\frac{Z\sin\omega t-\omega\cos\omega t}{Z^2+\omega^2}$$

$$=\left(N_0+\frac{R_0\omega}{Z^2+\omega^2}\right)e^{-Zt}+\frac{R_0}{\sqrt{Z^2+\omega^2}}\sin\left(\omega t-\tan^{-1}\frac{\omega}{Z}\right)$$

$$\cdots\cdots(1.26)$$

これにより知られるように，N の変化は R の変化にくらべて位相のおくれがあり，$Z=0$ のとき，このおくれは $\frac{\pi}{2}$ すなわち $\frac{1}{4}$ 週期であり，また $Z=\infty$ のとき 0 である．

時間の単位として T をとると，（たとえば漁場への魚の移動が 1 年週期であれば，t を 1 年にとる）このとき $\omega=2\pi$ となり，

$$N=\left(N_0+\frac{2\pi R_0}{Z^2+4\pi^2}\right)e^{-Zt}+\frac{R_0}{\sqrt{Z^2+4\pi^2}}\sin\left(2\pi t-\tan\frac{-12\pi}{Z}\right)$$

$$\cdots\cdots(1.27)$$

である．

もし 1 漁期中に漁場への出入が完全に 1 回行われるのであれば

$$\left(\frac{dN}{dt}\right)=-Z\bar{N} \qquad \cdots\cdots(1.28)$$

$\bar{N}$ は平均値

となり，平均過程をとることによつて全減少率を求めることができる．しかしこのように漁業が周年にわたつておこなわれることは，少なくとも日本の漁業ではほとんどなく，漁場からの逸散がある程度に達すれば終漁となることが多い．

以西底曳漁業では，漁期は周年であるが，これも魚種ごとにみると，全く漁業がおこなわれない時期がある．たとえば，エソは 4 月ごろから大陸棚周辺の深みから徐々に北上して漁期が始り，9～10月に盛期となるが，その後，南下して再び漁場を去り，漁期の終りとなる．

漁期の終了は，以東底曳のような行政措置によるものは別として，漁場からの逸散が絶頂に達するか，あるいは終了した時であると考えることができよう．

上述のように魚の来遊逸散が単弦振動的におこなわれるとするとき，来遊量と，漁場内の資源量の変化との間には，位相のずれを生ずる．すなわち $Z=0$ のときは，来遊開始のとき漁場内の資源量は極少であり，もし週年漁期がつづいているなら，この時期を漁期の始りと考えることができる．

また，漁期の終了が，脱去の絶頂等にあるとすれば，このとき $t=\frac{3}{4}T$ である．

しかし，漁期内の資源量は，その後もさらに減少をつづける．たとえば，以西底曳漁業で，シログチ，クログチ等は，漁場からの逸散は4月頃がもっとも盛であるが，資源量の減少は7月頃までつづく．しかし，実質的には，4月頃を終漁期としてもよい．

このような場合，もし $Z=0$ であれば，漁期の始めには資源量は減少であるが，漁期の終りにはまだ逸散がつづいている．したがつて，減少係数 Z と加入量 R との大小関係によつては，漁期の始めよりむしろ終りの方が資源量が大きく，漁期を通じての平均的な見かけの減少は，負の値を示すこともありうる．

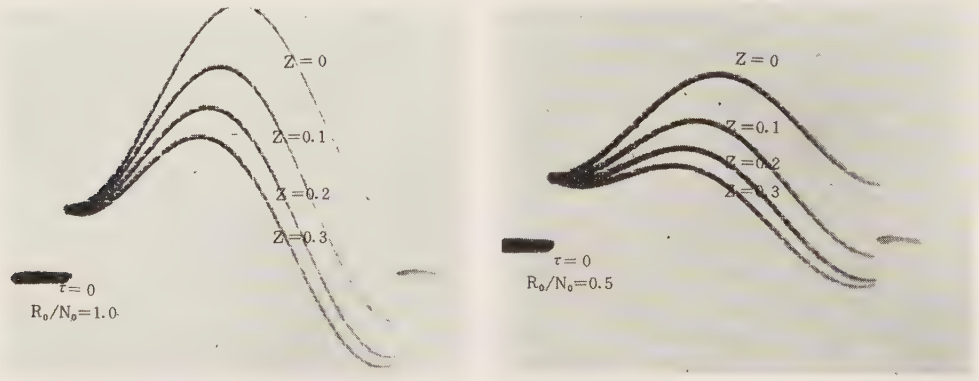
1年を単位として取扱うとき，漁期は0から $\frac{3}{4}$ 年（9ヶ月間）であり，漁期始めの漁場の資源量 N_0 と漁期の終りの資源量 $N_{\frac{3}{4}}$ との大小を比較すると，

$$N_{\frac{3}{4}}=\left(N_0+\frac{2\pi R}{Z^2+4\pi^2}\right)e^{-\frac{3}{4}Z}-\frac{R_0Z}{Z^2+4\pi^2} \quad \cdots\cdots (1.29)$$

$$N_0-N_{\frac{3}{4}}=N_0\left(1-e^{-\frac{3}{4}Z}\right)+\frac{R_0}{Z^2+4\pi^2}\left(2\pi e^{-\frac{3}{4}Z}-Z\right) \quad \cdots\cdots (1.30)$$

N_0 が $N_{\frac{3}{4}}$ より大きいか小さいか，すなわち，全漁期を通じて見かけの減少があるか，あるいは増加があるかは，Z と R_0/N_0 との大小関係によつてさだまる．

アナグロ・コンピュータによつて t と N_t の関係を求めると第7図となる．



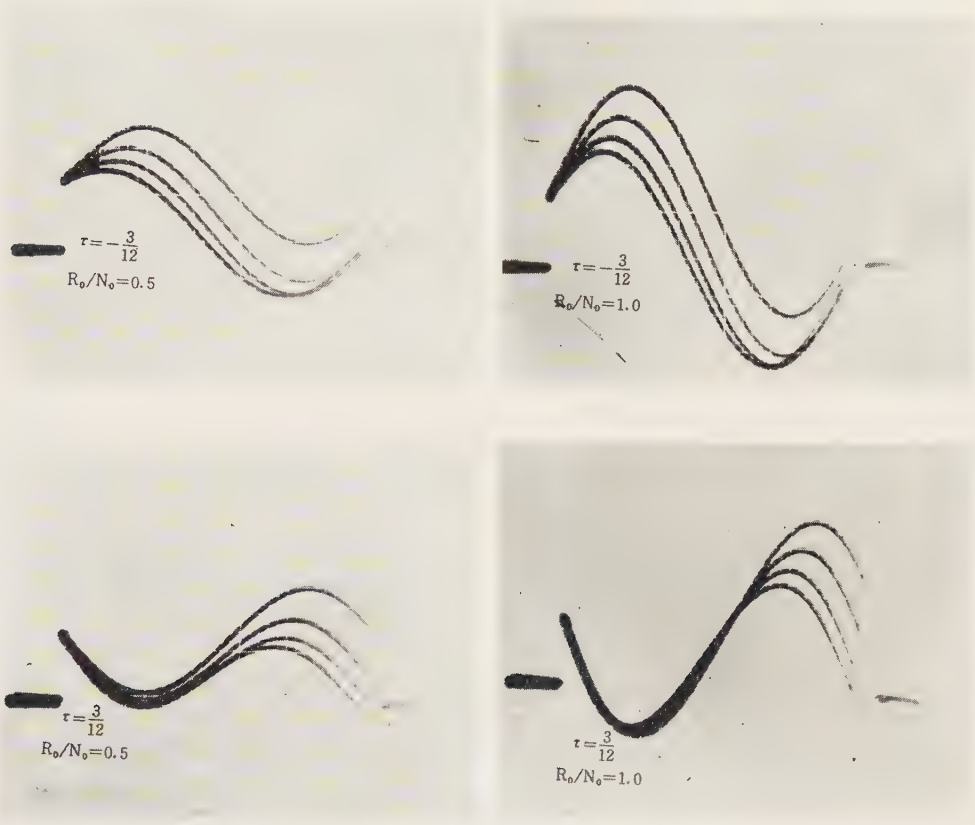
第 7 図　週期関数的な加入量の変動があるとき，アナログ・コンピュータによる資源量の漁期内変動の解

$$\frac{dN}{dt}=-NZ+R_0\sin\omega(t-\tau), \quad \tau=0$$

さらに，漁期の始めと加入の開始とが一致するかわりに，加入の開始は τ 年だけおくれる．すなわち（1.23）のかわりに

$$R=R_0\sin\omega\,(t-\tau) \quad \tau\neq 0$$

となる場合も同様に解くことができる．同じくアナログ・コンピュータで求めた同じ関係は第8図で示す．



第 8 図　アナログ・コンピュータによる計算

$$\frac{dN}{dt}=-NZ+R_0\sin\omega(t-\tau),\quad \tau\neq 0$$

これにより，Z と R_0/N_0 との大小関係と，漁期全体を通じての増加減少の様子は第8表に示されるとおりである．

第 8 表　週期関数的な加入逸散 $R=R_0\sin(t-\tau)$ であるときの減少係数

R_0/N_0 / τ	0.1	0.25	0.5	0.75	1.00	1.50	2.00
$-\frac{3}{12}$	−0.027	−0.043	−0.068	−0.086	−0.099		
0	0.022	0.057	0.073	0.078	0.097	0.124	0.122
$\frac{3}{12}$	0.021	0.069	0.181	0.320	0.517	0.713	0.849

$\tau=-\frac{3}{12}$ のとき Z がこの値より大きいとき常に $N_0>N\frac{3}{4}$

$\tau=0$ および $\frac{3}{12}$ のとき Z がこの値より大きいとき $N_0>N\frac{3}{4}$

いずれにせよ，式 (1.27) で示された曲線の値を決定する定数は，初期資源量 N_0、[illegible]

定数 R_0，その週期 T，および，減少係数 Z の4個である．したがつて理論的には4組以上の観測値，たとえば月単位の資料を用いる場合には，4箇月以上の観測によつてこれらを決定できる筈である．また週期 T が1年であるとすれば，R_0，Z および N_0 の3つの未知パラメータは3個以上の観測の組によつて解くことができる筈である．

しかし，このためには，漁期の長さが，少くとも一年の大部分にわたつて続けておこなわれなくてはならない．しかし，以西底曳漁業のようなものはむしろ例外であり，日本の漁業ではこのような例はあまり多くない．以東底曳網漁業も，1年のうち大部分にわたつて操業が行われるとはいえ，ひとつの魚種だけの漁期はあまり長くないことが多い．（渡辺，1960）

第7表に示された日本海西南海区以東底曳網漁業の月別努力当り漁獲量にこの方法を用い，$\tau=0$（加入開始は漁期の始めと一致）とし，アナログ・コンピュータで Z および R_0/N_0 の値を求めることを試みたところ，精度は十分ではないが，$R_0/N_0 \fallingdotseq 0.3$ 乃至 0.5，かつ $Z=0.1$ 乃至 0.2 の範囲でやや近似が高いことが知られた．*

R の形として，単弦振動のかわりに，もつと複雑な形を用いれば，実際の値との適合度を高めることをこころみることができる．たとえば（後に第10表で示すような）以西底曳漁業では，努力当り漁獲量 c の値の1年間の変化をみると，漁場への出入が必ずしも正単弦振動的におこなわれるとみることはできない．むしろ実際の形としては，来遊は急激であり，減少はゆるやかである．また以東底曳漁業でも，ある魚種は徐々に来遊し，急激に去り，あるいはこの逆の場合もあるなど，種々の型がある．この場合，漁業者が狙う魚種の変化による見かけの漁場からの出入をも含まれている．

しかしながら，漁場への来遊が一時に起つたとしても，その後の減少が，自然減耗と，漁獲死亡の両原因による実際の減少のみであると考えることはできない．漁場からの逸散もあることを考えなくてはならない．

前述の以東底曳漁業でも，以西底曳漁業でも，漁獲物にはいくつかの魚種が，また同一魚種でもいくつかの年級が混じているため，c の値の変化を複雑にして結果を思わしくしなくしたことが考えられる．しかし以西底曳網の漁獲物のうち，キグチの同一年級のものだけについて c の値を追跡すると，第10表のようになり，漁期の始めの増加は，新しい年級の加入によるものだけでなく，前年から漁場にあつた高年魚も増加しているので，これは同一魚が漁場に出入していることをうかがわしめるものであろう．

これに用いた資料は以西底曳網業銘柄別統計，および真子（1959）による銘柄別統計を年令別統計に引きなおしたものによる．真子の方法では，3箇月ごとの年令組成を求めているので，これを月ごとの漁獲量によつて按分比例して毎月の年令組成を求めた．

$R_{(t)}$ の形を調和分解することによつてその適合度を高めることもできよう．しかし，未知定数の数はその都度増加し，そのため，実際の値から求められる推定値は，その精度の向上を期することはできない．

ここで考え方を変え，漁場からの出入にこのような特別な関数形を考えることをやめ，変域が正及び負の両方にまたがり，平均値を有する任意の関数とする．これが正の値をとるときは漁場えの加入，負のときは逸散となる．

前述の（1.21）

$$-\frac{1}{N}\cdot\frac{dN}{dt}=Z-\frac{R_{(t)}}{N}$$

で $R_{(t)}$ の平均すなわち

$$\frac{1}{T}\int_0^T R_{(t)}dt=\overline{R}$$

であるが $\overline{R}>0$ のときは漁場全体としては増加，また $\overline{R}<0$ のときは減少となる．

このような，漁場への出入を考え引いた減少率を ξ とすれば

---

* アナログ コンピュータの使用については，東海区水研土井長之技官・鉄鍵司技官等の手を煩わした．

$$\xi = Z - \overline{R}/N \quad \cdots\cdots (1.31)$$

N が努力当り漁獲量に比例するとして

$$N = kc$$

とすれば，

$$\xi = Z - \frac{\overline{R}}{kc} \quad \cdots\cdots (1.32)$$

$\frac{\overline{R}}{k} = R'$ とおけば，c およびこれから求めた ξ の値を用いて Z 及び R' の値を求めることができる．

さらにまた

$$Z = \hat{q} X + M \quad \cdots\cdots (1.33)$$

（1.2）と同じ

であるから

$$\xi = -\hat{q} X \frac{R'}{c} + M \quad \cdots\cdots (1.34)$$

となり，X，$\frac{1}{c}$，ξ の3個のパラメータから未知数 $\hat{q}$，M 及び R' をとくことができる．さらに $\overline{R} = 0$ すなわち漁場に加入逸散したものの差し引きが自然死亡の中に含まれていると考えれば，(1.34) によつて求めた $\hat{q}$ および M を用いて原式を逆計算し，その残差が $R_{(t)}$ という漁場への出入を示す関数になる．

（例1） 前章よりしばしばは用いられる日本海西南海区以東底曳網漁業（第1表）と比較用いられた数値は誤差を含まないものとし $\hat{q}$，M，R' を求めた．（第9表）

第 9 表

日本海西南海区以東底曳網漁業，漁場えの加入および逸散のあるときの漁獲能率 $\hat{q}$，漁場平均加入量 R'，及び自然死亡係数 $\hat{M}$

漁期	$\hat{q}$			R'			$\hat{M}$		
	上限	不偏推定	下限	上限	不偏推定	下限	上限	不偏推定	下限
48	0.166	0.040	−0.166	55.40		−7.23	0.061	−0.86	−1.79
49	0.314	0.079	−0.154	72.32	24.10	8.51	−0.349	−1.53	−2.72
50	0.381	0.245	0.109	21.34	−4.03	−29.64	−0.246	−0.70	−1.14
51	−0.091	−0.151	−0.211	50.54	−9.66	−1.92	0.760	0.53	0.30
52	0.079	0.025	−0.030	10.97	9.73	−49.64	0.273	−0.00	−0.28
53	0.064	0.006	−0.052	57.55	0.45	−11.92	0.394	0.12	−0.16
54	0.189	0.058	−0.072	77.33	−0.48	−51.50	0.038	−0.78	−1.59
55	0.645	0.051	−0.543	53.20	26.20	−39.24	0.990	−0.48	−1.94
56	0.225	−0.759	−1.743	6.39	19.05	4.97	3.234	−3.13	−9.48
57	0.145	0.069	−0.001	0.13	26.51	−20.14	0.241	−0.09	−0.43
					−6.87				

第1表に示した結果に比べて，必ずしも改善されたとはいえず，M には依然として負の推定値を得た例が多い．

そして $\overline{R}$ の値が正であること，すなわち漁期中に漁場に加入するものが多く，自然死亡と十分に分離でき

ないでいる．

このように，十分な使用にたえる結果を得られなかつた理由としては，かりに資料が正確であつたとしても，努力あたり漁獲量が，正しく資源量を示す指数となつていないこと，また，色々な魚種の色々の年令のものが混じているために $R(t)$ の形を複雑にしているなどのことは，前にのべたとおりである．

（例2） さきにのべた以西底曳漁業によるキグチについて，同一年級のものの c の変化から同様な計算をすると，第10表および第11表となる．この場合も，自然死亡および漁獲死亡などが負の値をとることが多く，また漁場への出入も，差し引き来遊過剰となつていることが多い．

第 10 表　以西底曳網漁業の努力量，キグチ（*Pseudosciaena manchuria*）の努力当り漁獲量，および全減少係数

X 努力量（曳網回数）　c 努力当漁獲量（箱）　Z 全減少係数

1954～55年

年級		1954		1953		1952		1951		1950	
月	X	c	Z	c	Z	c	Z	c	Z	c	Z
Jul.	25,476	19.90	−0.936	15.71	−0.813	10.95	−0.693	7.63	−0.693	6.18	0.382
Aug.	15,640	44.82	0.654	35.35	0.654	21.96	0.846	15.26	0.846	9.08	0.845
Sept.	22,905	23.23	−0.058	18.34	0.293	9.35	−0.153	6.51	−0.224	3.88	−0.861
Oct.	41,994	24.67	0.030	13.61	0.030	10.91	0.207	8.20	0.211	9.18	0.556
Nov.	40,628	24.00	−0.438	13.25	−0.438	8.86	−0.377	6.65	−0.377	5.26	−0.417
Dec.	42,318	37.28	0.010	20.58	−0.067	12.94	0.039	9.93	0.131	8.00	0.144
Jan.	36,760	36.81	0.163	21.98	0.163	12.43	0.583	8.70	0.579	6.90	0.583
Feb.	41,314	31.23	−0.058	20.55	−0.058	6.93	−1.015	4.88	−1.017	3.85	−1.013
Mar.	47,082	33.20	0.462	21.84	0.055	19.16	0.295	13.48	0.228	10.62	0.239
Apr.	46,084	20.85	0.041	20.64	0.041	14.26	−0.071	10.73	−0.071	8.36	−0.071
May	41,194	20.08	0.274	19.87	0.274	15.33	0.581	11.54	−0.582	8.99	0.581
Jun.	36,862	15.38	−0.464	15.22	0.071	8.68	−0.131	6.45	0.107	5.03	0.093

1955～56年

年級		1954		1953		1952		1951		1950	
月	X	c	Z	c	Z	c	Z	c	Z	c	Z
Jul.	29,296	24.52	−0.765	14.19	−0.765	9.78	−0.835	5.82	−0.832	4.58	−0.805
Aug.	28,606	52.64	0.371	32.75	0.371	22.50	0.385	13.42	0.385	10.29	0.665
Sept.	32,935	36.21	0.616	22.19	0.473	15.30	0.378	9.09	0.074	5.28	−0.222
Oct.	43,786	19.41	0.462	13.83	0.243	10.47	0.243	8.44	0.243	6.59	0.093
Nov.	46,573	12.30	−0.270	10.84	0.120	8.19	0.122	6.60	0.119	5.97	0.273
Dec.	51,153	16.10	0.274	9.61	−0.040	7.28	0.017	5.86	−0.017	4.54	0.008
Jan.	44,118	12.24	−0.254	10.01	0.379	7.16	0.381	5.96	0.381	4.50	0.393
Feb.	49,104	15.86	0.113	6.84	−0.336	4.89	−0.336	4.07	−0.336	3.03	0.683
Mar.	51,640	14.22	−0.013	9.56	0.392	6.84	0.333	5.70	0.344	6.03	−0.048
Apr.	50,493	14.48	−0.019	6.46	0.068	4.90	0.069	4.03	0.069	6.33	0.473
May	44,663	14.76	0.844	6.03	0.293	4.57	0.293	3.76	0.295	3.94	0.874
Jun.	46,060	6.36	−0.722	4.50	−0.848	3.41	−0.484	2.80	−0.597	1.64	0.595

1956～57年

年級		1954		1953		1952		1951		1950	
月	X	c	Z	c	Z	c	Z	c	Z	c	Z
Jul.	33,641	14.47	0.320	10.51	0.320	5.55	0.320	5.10	0.678	2.97	0.383
Aug.	25,837	10.50	0.165	7.61	0.165	4.02	0.165	2.59	0.601	2.02	0.583
Sept.	28,522	8.91	−0.561	6.46	−0.405	3.41	−0.794	1.42	−1.365	1.13	−1.453
Oct.	49,897	15.64	0.323	9.70	0.323	7.54	0.323	5.56	0.228	4.86	0.228
Nov.	48,651	11.28	−0.053	7.00	−0.053	5.44	−0.053	4.43	0.250	3.87	0.293
Dec.	52,672	11.90	1.171	7.38	1.135	5.74	1.053	5.69	1.231	5.19	1.230
Jan.	50,333	3.67	0.025	2.37	0.025	2.00	0.025	1.67	0.132	1.53	0.111
Feb.	44,434	3.58	−1.575	2.32	−1.575	1.96	−1.575	1.46	−1.853	1.36	−1.873
Mar.	51,745	17.37	0.469	11.23	0.323	9.50	0.351	9.44	0.248	8.85	0.252
Apr.	67,838	10.88	1.005	8.10	1.005	6.69	0.941	7.36	1.070	6.87	1.070
May.	53,158	3.98	0.389	2.96	0.389	2.61	0.389	2.53	0.389	2.36	0.382
Jun.	43,418	2.70	−1.294	2.01	−0.411	1.77	0.000	1.72	0.000	1.61	0.271

第 11 表　以西底曳漁業によるキグチ，漁場への出入があるときの漁具能率 $\hat{q}$，平均加入量 $\bar{R}$ および自然死亡係数 M

漁期	年級	$\hat{q}$	$\bar{R}$	M
1954	1954	4.20×10^{-6}	21.90	0.691
	53	−4.37 〃	14.18	0.929
	52	−2.44 〃	15.52	1.47
	51	−4.19 〃	10.36	1.43
	50	-2.0610×10^{-5}	9.44	2.32
1955	54	2.45×10^{-5}	10.74	−0.30
	53	2.90	0.007	−0.49
	52	2.10	0.003	−0.39
	51	2.62	3.797	−0.41
	50	1.79	0.640	−0.67
1956	54	1.56×10^{-5}	−2.848	−1.13
	53	2.75	2.815	−0.53
	52	2.52	2.685	−0.28
	51	2.29	2.301	−0.20
	50	-2.02×10^{-6}	2.737	1.37

このように，漁場への出入を，直線回帰式 (1. 2) からの残差として考える場合，残差によつて引きおこされる変動の値が，漁獲の両原因による変動にくらべて大になれば，推定値の精度は急激に減少する．情報理論を用いれば，すなわち減少係数という信号は，加入と逸散という雑音によつて変調され，得られた通信は非常に乱されたものとなつているということである．

さらに，この残差が単なる不規則な雑音のみでなく，ある偏りを与えるものであれば，得られた通信は，単なる乱れのみでなく，歪みをも伴うものとなり，逆にこれからもとの信号を解くことは，非常に困難なこととなつてくるということになる．

Z の値に大きな乱れを生ぜしめることは，資源量が小さいときに起りやすい．それは，このときには，僅かの絶対値の変動でも，その比率においては大きな変動となるからである．事実，漁期の最初又は最後で漁場への加入や逸散のあることが，全体に及ぼす影響が非常に大となる．

§1.4.1. 加入と逸散のパターンの比較

さらに，前節での取扱いでは，加入と逸散とは，同一の関数で符号のみことなつているものとしたが，この点に実は大きな問題がある．

何となれば，ある時間に漁場に入つた魚のうち，生き残つたものだけが漁場から脱去逸散する可能性をもつ．また逆に，漁場からの逸散が，たとえば気体の拡散などのように，その漁場の密度分布に関係するとしても，漁場に迎える量が同じ関係をもつとは限らない．魚の多いときは漁場から立ち去る魚も多いであろうが，漁場に入る魚の量は必ずしもそうでないであろう．

ただし，ここで，漁場に入る量と，漁場にある魚の数と関係を論じてはいるが，これは漁場に現存する資源量とこれに由来する加入年級量との関係を論じているのではない．後者の場合，あるときに存在する資源（親魚）から産み出される年級群が漁獲の対象となつて加入するまでに成長に要する時間のずれがあるが，ここで論じている場合にはこの時間のずれはない．

すなわち，もし死亡率が作用していないときに

$$\frac{dN}{dt}=R(t) \quad \cdots\cdots(1.35)$$

であるとする．これをさらに2つの部分に別けて，

$$R(t)=R_N(t)+R_p(t) \quad \cdots\cdots(1.36)$$

R_N は負の値のみをとり R_p は正の値のみをとるとする．R_p は加入量を R_N は逸散量を示す．

死亡率が作用しているときは

$$\frac{dN}{dt}=-NZ+R \quad \cdots\cdots(1.37)$$

（1.21と同じ）

Z が0のときには，漁場に入つて来た魚の総和と，漁場から立ち去る魚の総和は等しいから

$$\int_0^T R_p dt=\int_0^T R_N dt \quad \cdots\cdots(1.38)$$

しかし，Z が作用している場合には，漁場に入つてくる魚のうち，一部は自然減少及び漁獲によつて減少し，生き残つたもののみが漁場より立ち去れることになるから，

$$\int_0^T R_p dt>\int_0^T R_N dt \quad \cdots\cdots(1.39)$$

すなわち，漁場に加入する量の方が脱去量よりも大きい．

前述のキグチの例でも，増加の方が減少より急激に見え，これが見かけ上の M の値を負とする一因をなしている．

このように，魚が漁場へ出入する場合は，努力あたり漁獲量による減少係数の解析は非常な困難を伴う．アナログ・コンピュータによる計算の例では，R の形を単弦振動的とおいた場合は，単に R の平均値のみを求める場合に比して，Z および R/N の推定値がやや実用的に妥当であるように見えるが，やはりその精度は不十分であつた．

このような難点を生ずる理由をさらに追及し，これを脱却するために，次章以降では，利用度（availability）という概念を導入し，これを整理することとする．

第2章　利用度の導入

§2.1.　利用度の変動例，漁場学的利用度，生物学的利用度，および時間的利用度

前章でのべた議論によつて，漁場への魚の出入がある場合，すなわち魚群の全部が漁獲対象となつているのではなく，一部のみが漁場内に存在し，しかもその全体に対する比率が時間と共に変化するような場合には，見かけの減少率の変化が非常に複雑になつて，これから資源の動向を解析することが困難になるということについてのべた．

この場合，魚群体量のうち，漁場内にあるもののしめる割合を，MARR (1951) は，利用度 (availability) と名付けた．

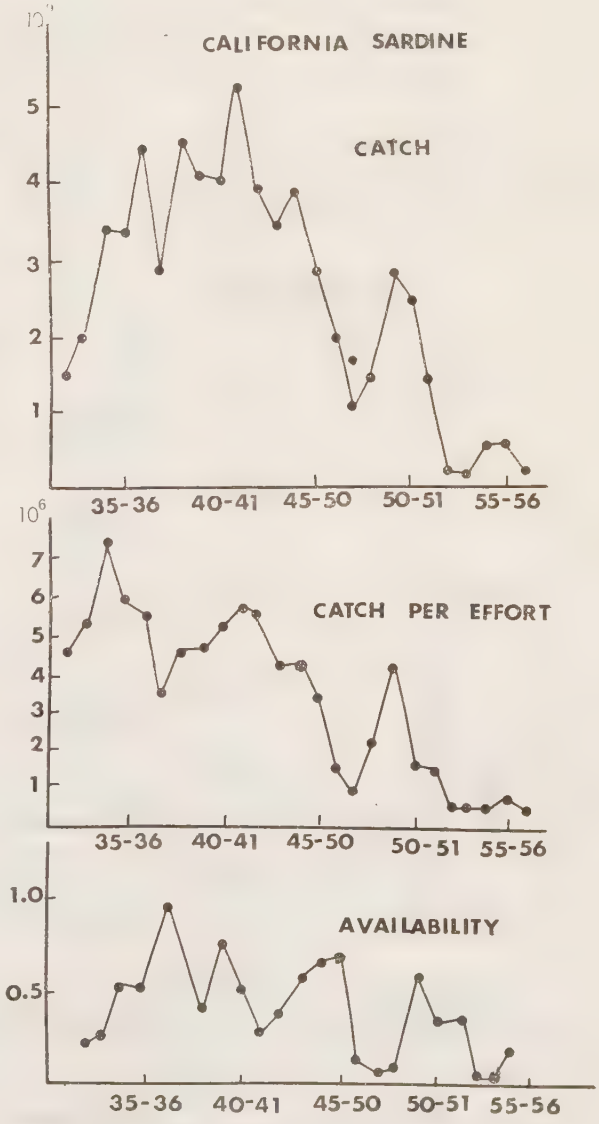
利用度の変化の存在は，漁業者も，また，多くの研究者も，体験的に認識し，これが漁況の変化に重要な作用のあることも知つて，ることである．

上述の定義によれば，魚が漁場に全然入らないときは利用度が0であり，完全に入つて漁獲の対象となつているときはこの値は1である．

利用度の変化をおこす機構は，色々に考えられる．

その第一は，前章でのべた以東底曳網漁業や以西底曳網漁業のように，漁場への魚の出入や，あるいは海況によつて対象魚群の分布範囲が非常に拡大して，漁船の出漁できる範囲の外まで及んだり，あるいはこの逆の場合に生ずる利用度の変化がある．また，底曳漁業では，海底の形状や底質によつて，漁場が形成されるのが出漁できる海面の一部に限られたりすることもある．また，他魚種との棲息区域の空間的なうばい合いによる変化もあろう．このような意味での利用度を，漁場学的利用度ということができる．

これに対し，カツオ一本釣においては，ある群は餌付がよく，またある群は悪いというような場合があり魚群の一部（同一地域内の）のみが漁業に利用されうる状態にあるということがある．火光利用の漁業でも，しばしば，“火附き不良”と呼ばれる現象が見うけられる．魚探を用いて投網するような漁業でも，魚群の行動やその形状によつては，明瞭な映像を生ずることがなく，漁業の対象からはずされるようなことも起り得る．た



第 9 図　カリホルニヤ，サージンの利用度漁獲量および努力当り漁獲量

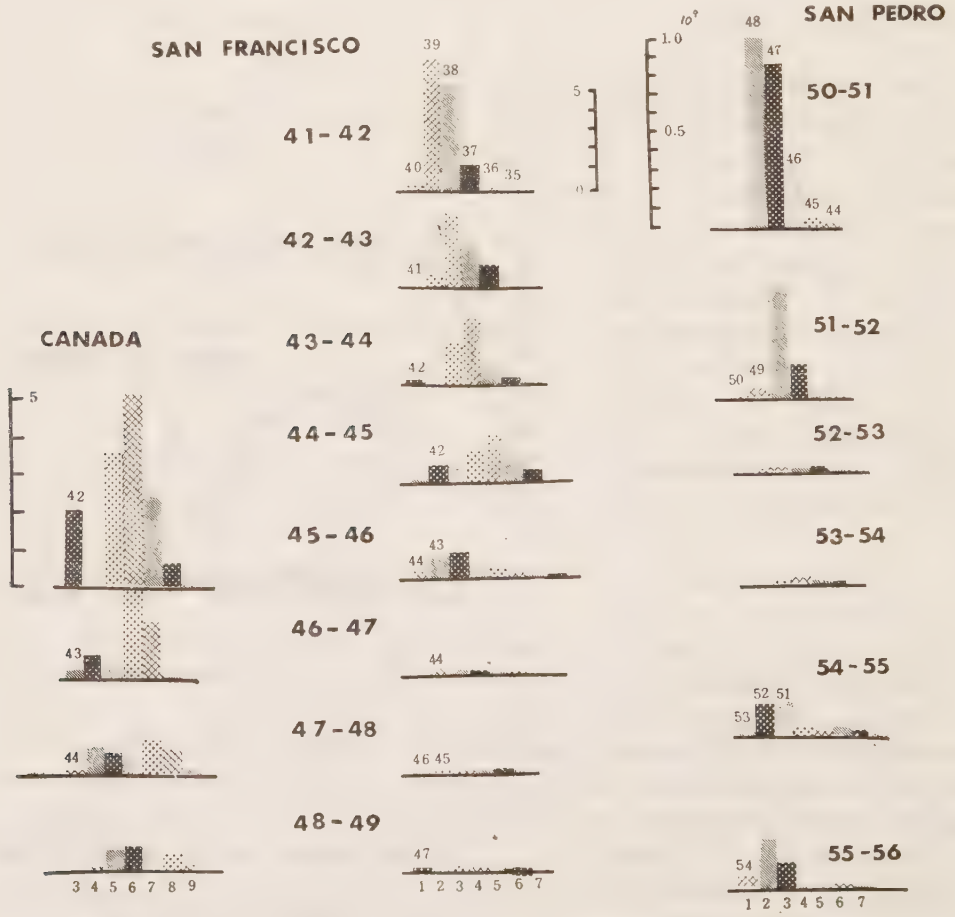
とえば，春季に日本海で産卵する大羽イワシは，他の時期のものに比して魚群を構成する魚の密度が小さくなり，そのため明瞭な映像が出なくなつて魚探で探査できない場合があることが報告されている．（伊東，1954）

このような，魚の分布する面積と漁場面積や，その中での魚の密度によるのでなく，魚の漁具との反応の度合による利用度の変化を，生物学的利用度と呼ぶことにする．

浮刺網や浮延縄漁業のように，魚群の遊泳深度の相異による利用度の変動も考えられる．これは，漁場の面積を，三次元に拡大して空間とみて，魚の分布する空間と比較したものと考えれば，漁場学的利用度の変化とみることができるであろう．また，これを，同一地点での魚と漁具との反応（深さによる遊泳の差による）と考えれば，生物学的利用度の変化であるとみることもできよう．

河川漁業などで，魚の来遊する河川が一定しており，また，交通の関係やその他の理由などで，このうち漁業をおこない得る河川がその一部で定つているような場合には，利用度は一定であるとみることができるであろう．しかし，海洋漁業では，一般に，利用度は，自然的，および人為的環境によつて左右され，変化する．そして，利用度の変化は，当然，漁場にある資源量，漁獲量，努力あたり漁獲量などにも大きな変化をあたえる．

魚が漁場に来遊する期間が1年のうちの一部分であり，また天候や其他の事情で，漁期が1年のうちの一部である場合にも，前述したような意味での利用度の変化を考えることができる．これを時間的利用度と呼ぶこととする．これは，数理的模型を考えるとき，その形が他のものとかなりことなり，その意味も若干



第 10 図　　カリホルニヤ，サージンの漁獲物年令組成の変化

ことなるので，これについては後章でのべることとし，今の第2章では一応ふれないことにする．

（例1） 利用度の推定方法は後述するが，California sardine の利用度の推定値 r，漁獲量 C，および努力あたり漁獲量 c を比較すると，第10図，および第12表に示すとおりであり，r は C，及び c の値と非常に高い相関を示している．

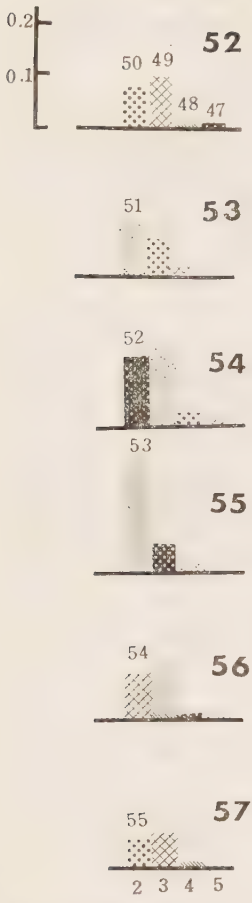
第 12 表　California sardine の推定利用度，漁獲量，および努力あたり漁獲量

	利用度 (1)	利用度 (2)	漁獲量 (10^6 尾)	努力当り漁獲量 (10^3 尾)
1932	0.49	0.20	1,371	4,591
33	0.54	0.29	2,110	5,383
34	0.82	0.52	3,497	7,354
35	0.61	0.51	3,408	5,974
36	0.92	0.90	4,442	5,501
37	0.51	0.62	2,789	3,217
38	0.42	0.36	4,683	4,886
39	0.64	0.79	4,128	4,615
40	0.44	0.33	4,022	5,272
41	0.20	0.27	5,344	5,801
42	0.29	0.44	3,988	5,374
43	0.31	0.55	3,453	4,188
44	0.34	0.69	3,810	4,206
45	0.34	0.72	2,793	3,171
46	0.09	0.17	1,893	1,562
47	0.06	0.12	927	763
48	0.06	0.13	1,493	2,101
49	0.19	0.62	2,757	4,227
50	0.11	0.38	2,590	1,728
51	0.11	0.40	1,307	1,378
52	0.04	0.14	23	743
53	0.03	0.13	19	251

利用度(1)は全期間を通じての計算による　　漁獲努力は boat montn
同　(2)は1945年まで及び46年以降で別々に推定したもの

この関係は，従来も，漁況予報で暗々裡に応用されている事実である．すなわち，利用度の変化を考えた場合の漁獲量は，後章でも詳細にのべるとおり，資源量，利用度，および努力量という3つの変数の関数として示される．日本海大羽イワシ漁況予報に海況との関係が用いられるのは（下村 1953，宮田 1959等）これが利用度に関係し，かつ利用度の変化が漁獲量の変化に高い相関のあることを応用したものであつて，これの数学的模型を用いることによつて数量的漁況予想を試みた例を，この報文の最後の章で示すこととするま，た年令組成にあらわれる変化が，利用度の漁期による変動にもとずくものであると考えた方が，種々の点で解釈に容易なこともある．

たとえば，前記 California sardine の例において，1940年代中葉にいちぢるしい漁獲量の低下があつた．これについては米領カリホルニヤ南部沖にその産卵場を有する系統群の添加が，1943年級を最後として激減したことによるという（MARR 1959）．しかし，San Francisco での漁獲物の年令組成の変化をみると，必ずしも若年魚のものから姿を消しているとばかりはいいきれないように思われる．1946年と47年の漁獲物の各年令の漁獲尾数の比をみると，むしろ高年魚の減少の方が激しい．（YAMANAKA 1960，）（第11図）



第 11 図　日本海北部マイワシの年令組成の変動

また，この逆に，1954年には漁獲が急増しているが，これは若年魚だけでなく，高年のものも同様であり，見かけ上の生残率が1をこえているものもある，前の例は，あるいは高年のものの自然減少係数が急増し，後者では同じくこれが急減したと考えることもできよう．しかしながら，前者の場合，はるか北部のカナダ国境では，同じ年級の高年魚が比較的増加している点からみて，これはむしろ高年魚の魚道が沖合に移動して直接カナダ地方に回遊することになつたものとも想像される．

すなわち，これは，米国海岸での利用度の低下によるものであろう．

また，同じ著者によれば，この時期以後，この魚は，主としてメキシコ領中部バハ・カリホルニヤ地方で産卵する系統群のみとなり，この沖合の漁場がはるかメキシコ領に移り，米領からの出漁が困難となつたことがあげられる．この結果，もし，海況の変動によつて回遊海域が移動すれば，米国領内の漁港を根拠とする船の出漁範囲に入る魚の量が変化して，その利用度が大はばに変化する．1954年には漁獲が増加したが，このときは漁場が北進して米国領沖に到つていることが，利用度を高めている．(CLARKE・MARR 1955)

前にのべた計算結果をみると，(計算方法は後述) 1946年以後の利用度は，それ以前のものよりも，その平均値が小さく，そしてその変動範囲は殆んど同一である．(YAMANAKA，未発表) すなわち，相対的に変動係数が大である．すなわち漁場の移動によつて利用度が減じていると僅かの位置の変化も，利用度を相対的に大きく変動させることになる．

結果を示すと

1945年以前　$r=0.55$　$\hat{\sigma}_r=0.21$

1946年以後　$r=0.25$　$\hat{\sigma}_r=0.20$

(例2)　このような例は，日本の漁業でもいくつか見出される．たとえば，1954年の日本北部の大羽イワシ流網漁業では，前年に比して，2才魚以外のどの年級のものも増大しており，年級ごとの見かけ上の生残率も，ことに高年のもので増大しており，また1956—57年に漁獲量が急減したときも，やはりこれは高年魚で著しい．こようのな年級量の見かけの変化，ことに，しばしば見られる負の死亡率のごときは，実際の死亡率の変化を示すものとするより，利用度の変動によると考える方がより妥当であろう．

この例も，前述の California sardine と同じく，海況による漁場の成立位置による利用度の変化の例となる．(下村，1953)

日本海北部マイワシ年令組成変化は，第11図に示すとおりである．

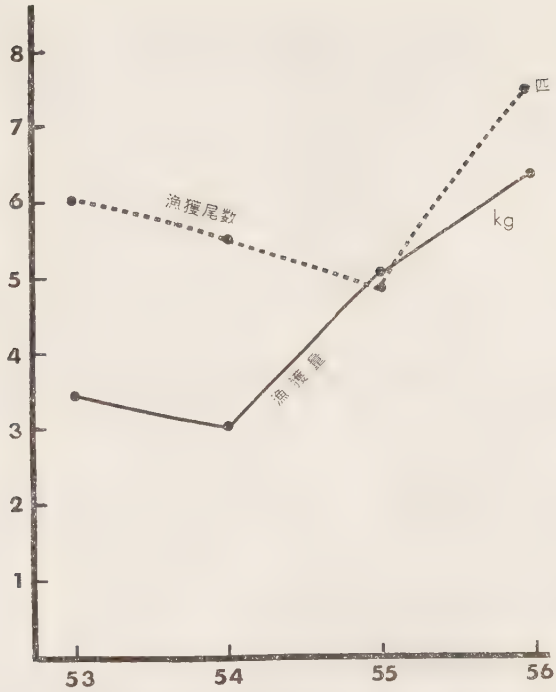
(例3)　底魚類についても，このような，利用度の変動による年令組成の変化がみられる．たとえばしばしば引用した日本海以東底曳網漁業によるソウハチガレイでは，漁獲量は1955年に増大したが，この場合高年魚が前記 Californie sardine の場合と同様に増大した．(第12図)

§2.2.　利用度が1より小さい場合の数学的標型

WIDRIG (1954) は，availability が1より小さい場合の数学的模型を考えた．

ある時点の資源量を N_1, availability を r とすれば，この時で利用可能な資源量 N_a は rN であり，また，不可利用なものは，$N_u=N-N_a=(1-r)N$ である．

自然死亡は漁場の内外を問わず作用するが，漁獲死亡は漁場内の部分についてのみ作用する．したがつて



第 12 図　日本海西南海区以東底曳網漁業によるソウハチガレイ曳網当り漁獲量

N_a については，翌年（あるいは次の漁期を年ごとにとつた場合）に残存する量は，

$$N_a' = N_a e^{-(\hat{q}X+M)} = rNe^{-(\hat{q}X+M)} \quad \cdots\cdots (2.1)$$

また，不可利用の部分が翌年に残存する量は，

$$N_u' = N(1-r)e^{-M} \quad \cdots\cdots (2.2)$$

である．

したがつてこのときの残存量は，

$$N' = N\left[re^{-(\hat{q}X+M)} + (1-r)e^{-M}\right]$$

$$= Ne^{-M}\left[re^{-\hat{q}X} + (1-r)\right] \quad \cdots\cdots (2.3)$$

よつて

$$s = e^{-M}\left[re^{-\hat{q}X} + (1-r)\right]$$

$$Z = -\log s = M - \log\left[re^{-\hat{q}X} + (1-r)\right] \quad \cdots\cdots (2.4)$$

となる．

r がもし一定であれば，これをもひとつの未知パラメータとし，Z と X の観測値の組合せから M_1 及び $\hat{q}$ と共にこれを解くことができる．しかし，この方程式は非線型であるので，数値解によつて近似的に解きうるのみである．WIDRIG 自身，これを解くことは試みなかつた．

r が一定でない場合，WIDRIG は Z と X との関係 (1. 2) から M, $\hat{q}$ の不偏推定値をまず求め，これを原観測値に入れて得た Z'，生残率 s' と，実際の漁獲物の年令組成による s を比較して s'/s を連続する2つの漁期の利用度 r_1 と r_2 との比 r_1/r_2 の推定値であるとした．しかし，著者自身，前記の報文 (1954) の中で，この推定値は不正確であることを認めている．

この考えを若干修正すれば次のようになる．

r の変動が確率的であるとし，かつ，その平均値を $\overline{r}$ とする．

上述の s' のかわりに，$\overline{r}$，$\hat{q}$，M の推定値を (2. 4) に代入して得た値 s'' および Z'' を用い

$$Z''-Z=\log\frac{s''}{s}=\frac{r_1}{r_2}\ast \quad \cdots\cdots(2.5)$$

とする．

もし，$\hat{q}$，M，$\overline{r}$ が求められれば，これを用いた回帰曲線と，実際の資料による減少係数との残差は，(2. 5) から

$$\delta_i=\frac{r_i}{r_{i+1}} \qquad i=1.2\cdots\cdots n-1 \quad \cdots\cdots (2.6)$$

として，

$$\begin{aligned}
&\log r_2=\log r_1-\delta_1\\
&\log r_3=\log r_2-\delta_2=\log r_1-\delta_1-\delta_2\\
&\log r_4=\log r_3-\delta_3=\log r_1-\delta_1-\delta_2-\delta_3\\
&\qquad\vdots\\
&\log r_n=\log r_{n-1}-\delta_{n-1}=\log r_1-\sum_{i=1}^{n-1}\delta_i
\end{aligned}$$

故に

$$\frac{1}{\log r_i}=\log r_1-\frac{\sum_{i}^{n-1}\left(\sum_{i=1}^{n-1}\delta_i\right)}{n-1}$$

以下

$$\left.\begin{aligned}
\log r_1&=\frac{1}{\log r_i}+\frac{\sum_{i=1}^{n-1}\left(\sum_{i=1}^{n-1}\delta_i\right)}{n-1}\\
\log r_2&=\log r_1-\delta_1\\
&\vdots
\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (2.7)$$

というようにして，各々の i についての値を求めることができる．

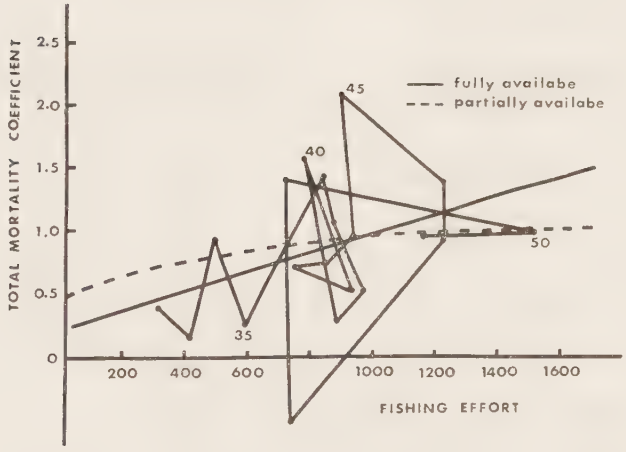
(2. 4) の方程式は，このままでは解くことはできない．しかしその数値解は，試行錯誤法により，最小自乗法を適用して求めることができる．前節でのべた YAMANAKA の求めた California sardine の計算はこの例である．

---

* この値は実は利用度の取扱い方により若干の補正を要し，この補正は第一種，第二種等々の利用度のどれを取上げるかによってことにする．これについては後述する．

第 13 表　M, $\hat{q}$ および r に種々の値を入れて式 (2. 4) に入れた残差平方和†
(California sardine, 1932～53年)

r \ M	0.1	0.2	0.3	0.35	0.37
0.4					
0.5				6.65	6.90
0.6			6.78	6.75	
0.7		6.80	6.77		
0.8	7.12	6.94	6.85		



第 13 図　カリホルニヤ，サージンの努力量と全死亡係数

1936—37年の漁期では，利用度の値は殆んど 1.0 であり，また，1948—49年では 0.1以下である．そしてこの魚の1930年代以後の利用度の最大値は，最小値の10倍以上である．また，このようにして推定された r の値と c の値との相関係数は 0.8以上である．

1952—53，53—54，54—55の 3 漁期については，実際の漁獲が漁場のどの場所で行われたかを示す資料がある．(CLOTHIER. et. al. 1956) これによる漁場の面積（経緯度各10′の矩形数）と，上述の計算によつて得られた利用度を比較すると，

	漁場面積	r
1952—53	36	0.14
53—54	25	0.13
54—55	62	0.28

† WIDRIG は $\bar{r}$ を算術平均として扱つた．しかし，式の形からみて実際は幾何平均の方が適切である．したがつて，(2.5) の $-\frac{r_1}{r_2}$ は $\log\frac{r_1}{r_2}$ とすべきである．

* この場合 M と $\hat{r}$ とを定めれば $\hat{q}$ の第一近似として $\frac{\log\left[e^{(M-\bar{Z})}-(1-r)\right]}{\bar{X}}$ が得られる．この近似は相当に高い．(WIDRIG 1954)

この場合，回帰曲線（2. 4）からのずれを，利用度の変動によるものとして取扱うかわりに，これを自然死亡係数Mの変動によるものとしても考えることもできる．このように，利用度の変動と，自然死亡率の変動とは見かけ上交絡し，そのうちの一つを他から切りはなして取り出すことは困難である．しかし，漁場えの来遊量の増減を，利用度の変化によつて取扱うとすれば，ある程度の長期間のうちには，この変化は相殺されて，平均値（相乗平均）に近づく．これに対し，自然死亡によるものはその変化が一方的であり，一旦減少したものが再び増大することはありえない．このように，漁獲以外の原因による変化の中で，系統的（あるいは一方的な方向を有する）部分は自然死亡率の変化として，そうでない部分（或いは確率的な性質を有する部分）は利用度の変動として考えることができる．

§2.3. 自然死亡率の変動を考えた場合の模型

前節の与程式2. 4)で $\bar{r}$、$\hat{q}$、M の推定値を漁期の X から計算された Z の理論値 Z' と，実際の Z との残差 δ_i を r の変動によるものとするかわりに，M の変動と考え，r はは一定であるものとすれば，前節の方法で求めたMの不偏推定値$\hat{M}$に δ_i を加えたものが，各漁期の自然死亡係数となる．

前節の California sardine を例として，この方法で$\bar{r}$ を平均0.45として，この方法で毎漁期の M の値を求めると，第14表で示す値となる．

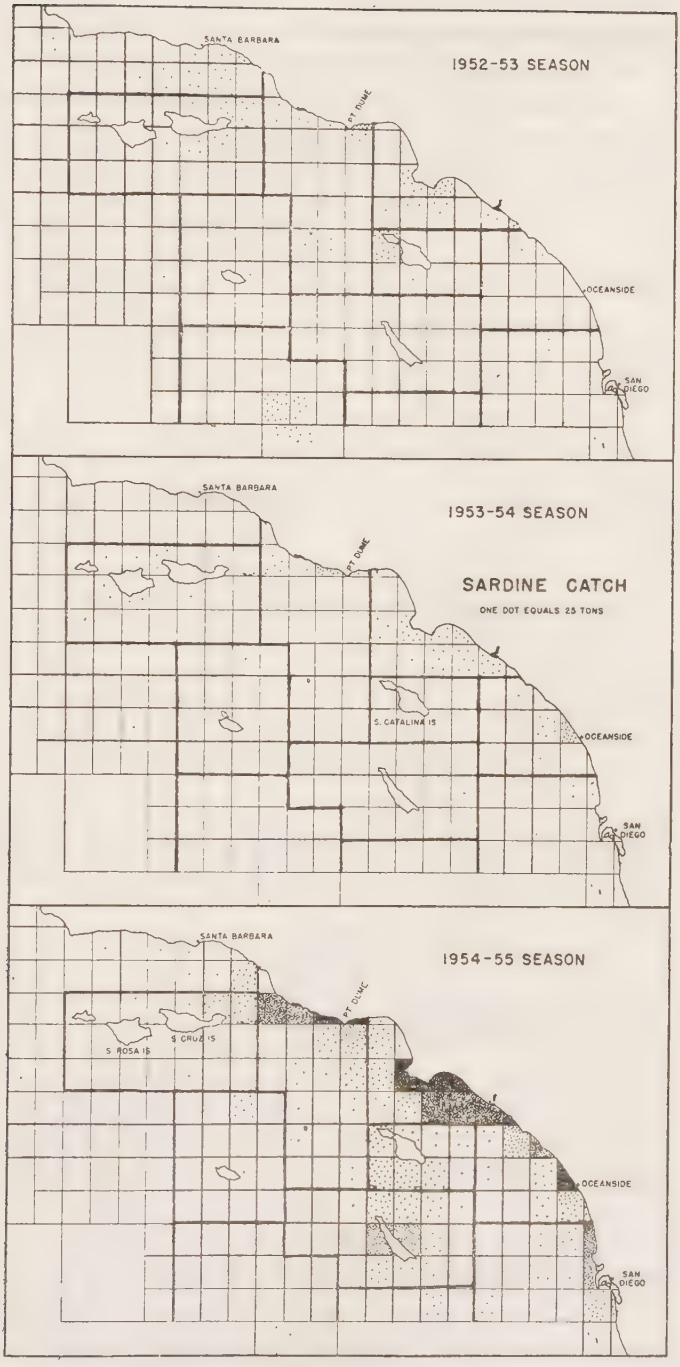
第 14 表　California sardine で $r=0.45$とした場合の各漁期の自然死亡係数の推定値

漁　期	M
1932	−0.134
33	−0.349
34	0.308
35	−3.83
36	0.908
37	0.571
38	−0.131
39	0.803
40	1.105
41	−0.357
42	0.271
43	0.083
44	0.521
45	1.821
46	0.924
47	1.024
48	−0.795
49	1.622
50	0.662
51	0.188
52	3.231
53	0.375

自然死亡率の変動要因としては，食害，環境の不適応，餓死などの変動を，色々考えることができよう．しかし California sardine の場合，ここで求めた M の推定値は負数を含み，その変動のはばも大きい．しかしこの漁業の場合，対象となるものは殆んど成魚のみであり，自然死亡に大巾な変動を認めることが妥当であるかどうか疑わしい．*

前章で扱つたソウハチガレイの例でも，他から食害を受けることの少い（渡辺，1960）この魚の自然死亡率がそれほど大であつて，大きな変動を受けていると考えるよりは，やはり漁場の変化の方が，全減少係数

* E. H. AHLSTROM の教示による



Three-season Southern California Sardine Catch.

第 14 図　　カリホルニヤ，サージン漁場面積と利用度

原図：*Califonia Dep. Fish. and Game Fish, Bull., No.* 102 *p.* 13 より

に大きく影響すると考えた方が妥当性が大きいであろう．

§2.4. 2つ以上の年級が混在するときの利用度の取扱い

前節でのべた取扱い方は，2つ以上の年級からなる漁獲物にも拡張して考えることができる．

相つづく漁期における利用度を r_1 および r_2 とし，この間の特定の年級 j のみについて求めた生残率（特殊生残率）（山中・伊東，1957）を s_j，これに対する減少係数を

$$-\log s_j = Z_j$$

とする．

全年級を合計した全漁獲物については，

$$Z = Z' + \log r_2/r_1 \quad \cdots\cdots (2.8)$$

ある j 年級のものについては

$$Z_j = Z' + \log \frac{r_{2j}}{r_{1j}} \quad \cdots\cdots (2.9)$$

ここで r_i は i なる漁期での利用度（全年級を合せ）r_{ij} は同じ漁期での第 j 年級の利用度である．

上の2式から

$$Z - Z_j = \log r_2/r_1 - \log \frac{r_{i1}}{r_{i2}} \quad \cdots\cdots (2.10)$$

すなわち

$$\frac{r_{i1}}{r_{i2}} = \frac{\dfrac{r_1}{r_2}}{\dfrac{s}{s_i}} \quad \cdots\cdots (2.11)$$

漁期 i 年級 j の資源量を N_{ij} また各年級を合せたもののそれを N_i とする．簡単な場合として，2つのみの年級のみからなる場合を考えると

$$\left.\begin{aligned} r_1 &= r_{11}\frac{N_{11}}{N_1} + r_{12}\frac{N_{21}}{N_2} \\ r_2 &= r_{21}\frac{N_{12}}{N_2} + r_{22}\frac{N_{22}}{N_2} \\ \frac{r_{11}}{r_{12}} &= \frac{r_2/r_1}{s/s_1} \\ \frac{r_{21}}{r_{22}} &= \frac{r_2/r_1}{s/s_2} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (2.12)$$

この4つの方程式をとくことによつて $r_{11}\cdots\cdots r_{22}$ を求めることができる．

年級が3つ以上ある場合には，前と同じく，

$$\left.\begin{aligned} r_1 &= r_{11}\frac{N_{12}}{N_1} + r_{12}\frac{N_{21}}{N_1} + r_{13}\frac{N_{31}}{N_1} \\ &\vdots \\ \frac{r_{11}}{r_{12}} &= \frac{r_2/r_1}{s/s_1} \end{aligned}\right\}$$

という連立方程式のみではこれを解くことはできない．何となれば，年級を1つ増加すれば，未知数は2つ

増すからである.

この場合は，2つ以上の年級をプールして，全体を2組の主なグループに別け，各々についての利用度を求め，さらにこれをくりかえすことによつて各年級の利用度を順次に求める.

第15表は，このように求めた California sardine の各年級の利用度である.

第 15 表　California sardine の各年級ごとの利用度

漁期	年級							
	(27)	(28)	(29)					
32—33	0.22	0.28	0.16	(30)				
33—34	0.49	0.35	0.25	0.21	(31)			
34—35		0.44	0.39	0.50	0.62	(32)		
35—36				0.35	0.52	0.52	(33)	
36—37				1.00	0.99	0.95	0.68	(34)
37—38	(35)				0.29	0.53	0.72	6.69
38—39	0.46	(36)				0.05	0.16	0.37
39—40	1.00	0.73	(37)				0.23	0.45
40—41	0.51	0.58	0.61	(38)				0.50
41—42	0.22	0.20	0.32	0.29	(39)			
42—43		0.45	0.59	0.46	0.37	(40)		
43—44			0.76	0.60	0.53	0.34	(41)	
44—45				0.66	0.82	0.75	0.50	(42)
45—46	(43)				0.66	0.82	0.67	0.67
46—47	0.16	(44)				0.04	0.21	0.13
47—48	0.10	0.09	(45)				0.11	0.16
48—49	0.13	0.12	0.14	(46)				0.04
49—50	0.92	0.62	0.50	0.60	(47)			
50—51		0.31	0.30	0.32	0.45	(48)		
51—52			0.19	0.28	0.33	0.45	(49)	
52—53				0.71	0.23	0.15	0.68	
53—54					0.02	0.06	0.43	

この結果をみると，同一漁期のものでは，高年令のものほど利用度が低く，また，ある漁期で主要な年級のものは，利用度が高くなつている．さきにのべたように，見方を変えれば，高年魚の自然死亡率が高まつていることになる.

§2.5. 第一種，および第二種の利用度変化

前述のように，利用度の定義を“漁場で利用しうる状態にある魚の量の，全魚群に対する比率”として定義するとき，その変化の数理的模型を考えるときに2つの理想的な場合をとりあげることができる.

第一には，魚の分布する面積，および，その密度は変らないでも，天候や，海況などの条件のため，漁獲できる範囲が変化するために生ずる利用度の変化である．たとえば，魚道の海岸からの距離が変化して，漁船の出漁範囲に入る面積の比率が変化するような場合である．これに属すると思われる実例は，後述するように California sardine，および，東北海区のサンマ漁業などに見られる.

第二には，漁場としてなりたつ面積によらず，海況の変動などによつて，一定面積の漁場内の魚群の密度が変化し，あるいは，地形などの特殊な場所で魚群が来遊停滞しているような場合に生ずる利用度の変化である.

これに属する実例としては，今までにもすでにのべた日本海北部イワシ流網漁業がある.(下村　1953，宮田　1959) すなわち，佐渡海峡中への暖流々入が多いときには，新潟県沖合では魚群が濃縮されて好漁場となるに対し，佐渡沖合を通過するときには魚群が拡散し漁獲は思わしくない.

前者のように，魚群自体の総合的な分布密度，および面積に変化がなくても，漁場の面積の変化によつて利用度の変化がある場合，これを“第一種利用度の変化”，また，後者のように，漁場面積に変化がなくとも，ここに集る魚の局地的の密度分布の相違によつて生ずる利用度の変化があるとき，これを“第二種利用度の変化”と名付けることとする.*

§2.5.1. 第三種，および第四種の利用度変化

前節の2つの形の利用度の変化がある場合，漁場の内外での魚群の密度が等しいと考えたのであるが，実際の場合，海中で魚の分布する区域の一部のみが利用されている場合，魚群自体の分布も不均一であり，漁場の内外で密度の変化があると考えられる方が妥当であろう.

もし，魚の密度の高い部分と，漁場として被われる部分とが大部分一致しているのであれば，漁場の面積が変化することによつて，利用度のうける影響はあまり多くはない．しかし，実際の漁業では，むしろ魚群の密度が高い地域と，漁場として用いられる地域とがことなつている時に，利用度の変動が関心を持たれるであろう.

例えば，上述の日本海北部の大羽イワシ流網漁業では，対馬海流が佐渡の沖合を通過する場合，たとえ，佐渡外縁部で漁場が構成されても，この地方に適当な漁港がないために出漁できず，出漁可能な地域での魚の密度は小となつて利用度の低下をきたす.

また，魚群の濃密な部分が禁漁区に含まれていて，このため出漁可能な漁場内の利用度が低下し，政治的国際的な問題を生ずることはきわめて多い.

このように，漁場内外で密度に差がある場合にも，前記第一種，および第二種の利用度変化と同じく，(A)魚の分布する総面積によらず，漁場の拡張または縮少によつて生ずる利用度の変化，(B)漁場として利用しうる面積が一定で，そのうちに漁場密度の高い部分へのふくまれかたによる利用度の変化などが，それぞれ考えられる.

(A)の場合は，第三種利用度の変化，(B)の場合を第四種利用度の変化と，それぞれ名付けることにする.

漁船の規模や性能の増大によつて漁区が拡大し，魚群濃厚な新漁場が拡大するごときは第三種利用度の増大例である.

また前述のように日本海大羽イワシ流網漁業では，第四種利用度の変化があると考えることもできる．しかし，後述するように，第四種利用度の変化は，この数学的模型を論ずる場合には，第二種利用度の変化に変化して取扱うことができる.

§2.6. 第一種，および第二種利用度変化と漁獲率

このように，利用度の変化の様式がことなる場合，同一性質の漁具を同一量だけ用いても，それぞれに応じて魚群体にはことなつた形で影響をおよぼしてくる.

何故ならば，この論文**にいう catchability coefficient $\hat{q}$ は，元来，一個の努力量が，そのときに，漁場として利用しうる面積全部のうち，どの位の割合を漁獲しうるかを示す量である.

次に，第二種利用度が変化して，同一面積の中への魚群の来遊度が変化する場合には，可利用の魚群に対する同一性能の漁獲努力に対する catchability $\hat{q}$ の値は一定である，そして，可利用魚群体量は魚の密度に比例する．漁獲量も同様である.

---

* これらの用語は著者の創始による.

** “この論文で”，とわざわざ断つたのは，HOLT, GULLAND, TAYOLR, and KURITA (1959) では F/f, f は有効漁獲強度，もしくは単位面積あたりの標準化された努力量，として catchability q を定義したので，これとの区別をするため $\hat{q}$ を用いたのである．これを用いるとき，$\hat{q}/r$ のかわりに q を用いれば，以下の所論の殆んどがなりたつ．必要なときはその都度注記することとする.

もし，魚の空間密度が均一であり，漁場面積だけが利用度によつて変化する場合，漁場内の魚の量はこれに比例して変化するであろう．しかし，漁獲努力のもつ性能が変化しない限り，この場合の努力あたり漁獲量は変化しない．したがつて上記の定義とる $\hat{q}$ の値は漁獲の面積に反比例する．今，$r=1$ すなわち魚群の全分布域が漁場として利用されるのであれば，このときの，考える漁具についての $\hat{q}$ の値を $\hat{q}_0$ とすれば，第一種利用度が r の場合，この値は $\hat{q}_0/r$ となる．すなわち，魚の密度が一定であれば，同一努力量に対して漁獲量は一定となり，利用可能な部分に対する漁獲率のみが $1/r$ 倍になる.

すなわち，第一種利用度が変化するとき，$\hat{q}$ の値は，$r=1$ のときの $1/r$ 倍となる．(HOLT. GULLAND・KURITA の定義によれば，第一種利用度は f に逆比例する．すなわち $r=1$ のときの f の値を f_0 とすれば，利用度が r のときに $f=f_0/r$ となり catchability q の方は変化しない).

(HOLT, GULLAND・KURITA の定義によれば，f に変化なく，q の方が r に比例し，$r=1$ のときに $q=q_0$ とすれば，このとき $q=q_0 r$ となる．)

このように，利用度の種類とその変化は，漁獲係数 F に，それぞれことなつた形で影響する．

資源のうち，利用し得るもののみについて考えるとき，漁獲係数 $F=\hat{q}X$ について，第一種利用度の変化があるとき

$$F=\frac{\hat{q}_0 X}{r} \quad \cdots\cdots (2.13)$$

第二種利用度の変化があるとき

$$F=\hat{q}_0 X \quad \cdots\cdots (2.14)$$

(以下特に必要でない限り q_0 の $_0$ を省いて簡単にする)

不可利用度を含めた全資源について，

第一種利用度の変化に対し

$$F'=rF=\hat{q}X \quad \cdots\cdots (2.15)$$

第二種利用度の変化に対し

$$F'=rF=r\hat{q}X \quad \cdots\cdots (2.16)$$

全減少係数 Z (可利用部と不可利用部を通じた) について

第一種利用度の変化に対し

$$Z=M+\log\left[re^{-\frac{\hat{q}X}{r}}+(1-r)\right] \quad \cdots\cdots (2.17)$$

第二種利用度の変化に対し

$$Z=M+\log[re^{-\hat{q}X}+(1-r)] \quad \cdots\cdots (2.18)$$

(2. 4) と同じ

となる．

第三種，および第四種利用度の変化に対する論議は後述する．

(2.17) および (2.18)を (2.4) と比較すると，第一種利用度は，利用部分のみについての catchability に反比例し，ま，た前節の WIDRIG の式は，第二種利用度の変化のある場合に相当する．

漁獲率 (E) および，漁獲量 (C) については，

第一種利用度に対し

$$\frac{-dN_a}{dt}=N_a\left(\hat{q}\frac{X}{r}+M\right) \quad dC=N_a\frac{\hat{q}X}{r}dt$$

$N_a=rN$　　N_a は利用部分の資源量

これより

$$C=N_a\frac{\left(1-e^{-Z'}\right)\frac{\hat{q}X}{r}}{Z'}=\frac{rN\cdot\frac{\hat{q}X}{r}\cdot\left(1-e^{-Z'}\right)}{Z'}$$

$$=N\frac{\hat{q}X(1-e^{-Z'})}{Z'}$$

すなわち

$$E=\frac{\hat{q}X(1-e^{-Z'})}{Z'} \quad Z'=M+\hat{q}X/r \cdots\cdots(2.19)$$

(Z' は利用部分のみについての全減少係数)

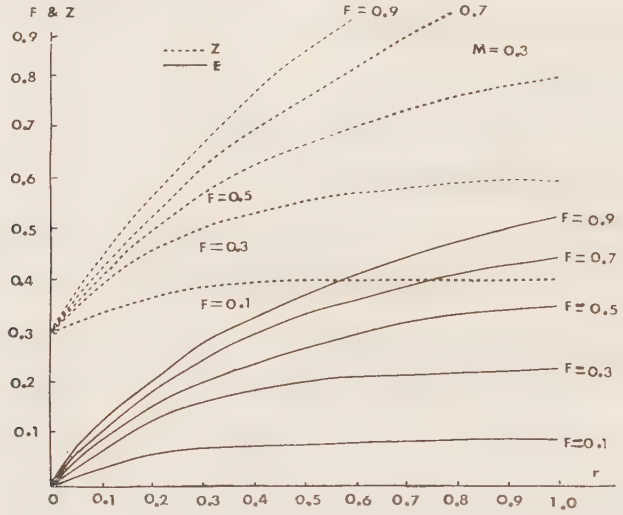
同様にして第二種利用度に対しては,

$$\left.\begin{aligned} E&=\frac{r\hat{q}X}{Z'}\left(1-e^{-Z'}\right)\\ Z'&=M+\hat{q}X \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(2.20)$$

となる.

漁獲量 C は (2.19), (2.20) にそれぞれ N を乗じたものである.

M, $\hat{q}X=F_0$ 等の値を色々に変じた場合の全減少係数 Z, および漁獲率 E の変化を第15図および第16図に示す.



第 15 図　第一種利用度の変化にともなう Z および E の変化

これによれば, たとえ漁場面積の拡大による第一種利用度の増加があつても, 努力量が等しい限り, 漁獲率および漁獲量は急激には増加しない.

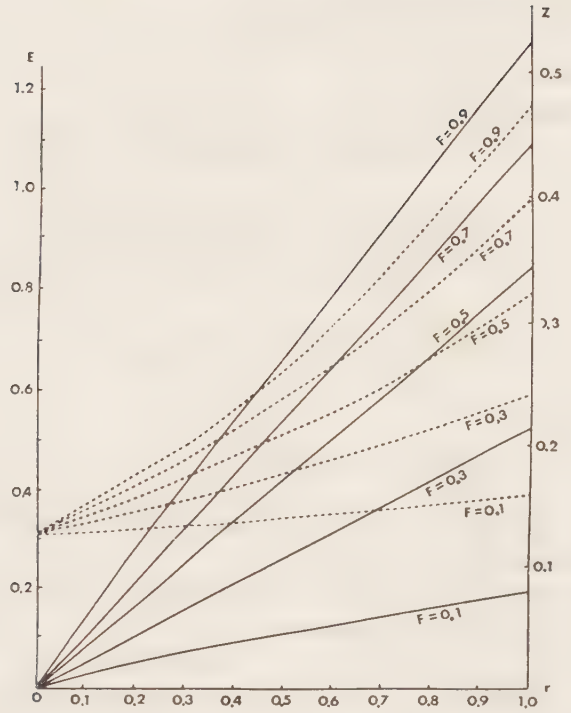
$r=0$ であれば Z' すなわち利用しうる部分のみについての漁獲係数の値は無限大になる. しかし実際にこのようなことはあり得ない. 何故ならばこれは漁場面積が0であり, 漁獲努力量自体も存在し得ない. したがつて, $r=0$, 実はこれを特異点として取扱うべきであり, この近傍では, $E=0$ である.

これに対し, 第二種の利用度の変化は, 漁獲率や漁獲量の変化に大きな影響をあたえる. 海況の変化が急激に漁獲量の大きな変化をもたらすのがこれである.

(2.19) および (2.20) に示した漁獲率は, 利用部分, 非利用部分をふくめた全資源量に対してのべたのであるが, 利用部分のみについては.

第一種利用度に対し

$$\left.\begin{aligned} E'&=\frac{1}{r}\frac{\hat{q}X}{Z'}\left(1-e^{-Z'}\right)\\ Z'&=M+\hat{q}X/r \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(2.21)$$



第 16 図　第二種利用度の変化にともなう Z 及び E の変化

第二種利用度に対し

$$\left.\begin{aligned} E&=\frac{\hat{q}X}{Z}\left(1-e^{-Z'}\right)\\ Z'&=M+\hat{q}X \end{aligned}\right\} \cdots\cdots(2.22)$$

これによれば，第一種利用度の増大は，利用し得る魚群のみについて考えれば，かえつて漁獲率のある程度の減少をきたすが，第二種利用度の増大は，漁獲率の増大をまねく，しかしながら，この場合の漁獲率の増大は，利用し得る魚に対するよりも全資源に対しての方が強い．

このことは，漁業に対する利用度の増大の影響を考えに入れるときに，注意しなければならない点である．すなわち，一定漁場内に魚群が濃縮されているときには，同一努力量が作用しても，漁獲死亡率が高まつている．

上述のように，第一種利用度の変化によつて総漁獲量の受ける影響は小さいが，漁場面積が増大する場合は，これに応じて多くの努力量を収容することが可能となる．もし，漁場面積と，収容し得る努力量とが比例するものであるとすれば，$r=1$ のときに収容しうる努力量 X に対し，$r=r$ のときに漁場内の収容される努力量は $X'=Xr$ となり，またこのときの漁獲率は

$$E=\hat{q}\frac{X'}{Z'}\left(1-e^{-Z'}\right)=\hat{q}rX\frac{1-e^{-Z'}}{Z'}$$

$$Z'=M+\hat{q}X'/r=M+\hat{q}X \cdots\cdots(2.23)$$

となり E は $r=1$ の場合の値に対し，ほぼ r 倍であり，また利用部分のみについては，ほぼ等しくなる．

MARR (1955) は，天候等による漁期の長短も利用度の変化としてのべているが，これはむしろ，これに応じて努力量の変化をともなうものであり，ここでのべている意味での利用度とは若干意味をことにする．これについては，時間的利用度として後述する．

§2.7. 第三種利用度と漁獲率，および減少率

漁場面積が変化するとき，これに応じて密度の高い好漁場が，操業可能な海域に含まれるかどうかによつて，第三種利用度の変化が生ずる．

いま，漁場として用いられている面積をA，漁場以外での魚の分布する面積を B とする．魚の分布密度は局地的にことなつているが，A の中にある魚の総量を N_A（利用される魚群体量）B の中にある魚の総量を N_B とすると，そのときのそれぞれの地域での平均密度 d_A，d_B は，

$$d_A=\frac{N_A}{A} \qquad d_B=\frac{N_B}{B} \cdots\cdots(2.24)$$

である．そして，利用度 r は，

$$r=\frac{N_A}{N_A+N_B}=\frac{Ad_A}{Ad_A+Bd_B} \cdots\cdots(2.25)$$

利用可能な魚のみに対する漁獲係数について考える．魚の分布する面積は $A+B=C$ である．そして $\hat{q}$ は前にものべたように，漁場の面積に逆比例する．

魚の分布する全域が利用されているときの catchability coefficient を $\hat{q}$ とすれば，面積 A のみが利用されている場合，漁場のみにある魚についての漁獲死亡係数 F は

$$F=\hat{q}X\frac{C}{A} \cdots\cdots(2.26)$$

である．

したがつて，資源量 N のうち，翌年まで生き残るものの数は，

利用部分に対し

$$N'_a=N'_A=N_Ae^{-(M+\hat{q}\frac{C}{A}X)}=d_AAe^{-(M+\hat{q}\frac{C}{A}X)} \cdots\cdots (2.27)$$

不利用部分に対し

$$N'_u=N'_B=N_Be^{-M}=d_BBe^{-M} \cdots\cdots (2.28)$$

よつて総資源量については，

$$N'=d_AAe^{-(M+\hat{q}\frac{C}{A}X)}+d_BBe^{-M}$$

$$=N\left[re^{-(M+\hat{q}\frac{C}{A}X)}+(1-r)e^{-M}\right] \cdots\cdots(2.29)$$

が得られる．

第一種利用度の変化を論ずる場合には

$$r=\frac{A}{C}$$

であつたが，今の場合，漁場が拡大するにしたがつて密度の高い好漁場がその中に含まれているものとすれば，

$$d_B>d_A$$

であるから，

$$r=\frac{d_AA}{d_AA+d_BB}<\frac{A}{A+B} \quad \cdots\cdots (2.30)$$

すなわち，面積比よりも利用度が小さくなる．

逆に，漁場が拡大しても，この中に好漁場が含まれないときは，面積比よりも利用度が大になる．

面積比$\frac{A}{C}$を r' と書き，これを“面積利用度”と呼ぶことにする．このとき，

$$Z=M-\log\left[re^{-\frac{\hat{q}}{r'}X}+(1-r)\right] \quad \cdots\cdots (2.31)$$

漁獲率 E について

$$\left.\begin{aligned} E&=N\frac{r}{r'}\hat{q}\,X\frac{1-e^{-Z'}}{Z'}\\ Z'&=M-\frac{\hat{q}X}{r'}\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (2.32)$$

すなわち完全利用（r, r' 共に 1）のときに比して$\frac{r}{r'}$倍となる．

漁場の拡大により好漁場が含まれるようなときには$\frac{r}{r'}<1$であり，この逆のときは$\frac{r}{r'}>1$である．いずれにせよ，これらの場合には，漁場の拡張や，縮少（すなわち r' および r の変化）は，漁獲率，および漁獲量の増減をともなつている．

実際の漁業で，いわゆる新漁場の開拓とは，第三種利用度の増大としてみることができよう．

§2.8. 第四種利用度と漁獲率

A, B, d_A, d_B は第三種利用度を取扱つたと同じ様に定義する．ただし，今の場合 A は一定である．

$r=1$，すなわち魚が全部 A に入つているときの密度 $d_{r=1}$ は

$$d_{r=1}=\frac{N}{A}=\frac{d_AA+d_BB}{A} \quad \cdots\cdots (2.33)$$

これを一般の場合の，漁場 A における密度 d_A と比較すると，両者の密度比は

$$\frac{d_A}{d_{r=1}}=\frac{d_A}{\frac{d_AA+d_BB}{A}}=\frac{d_AA}{d_BB+d_AA} \quad \cdots\cdots (2.34)$$

この場合には密度比が利用度に相当する．

第三種利用度と同じようにして N'_a および N'_u について

$$\left.\begin{aligned} N'_a&=N_ae^{-(M+\hat{q}X)}=d_AAe^{-(M+\hat{q}X)}\\ N'_u&=N_ue^{-M}=d_BBe^{-M}\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (2.35)$$

すなわち

$$N'=d_AAe^{-(M+\hat{q}X)}+d_BBe^{-M} \quad \cdots\cdots (2.36)$$

であり，

$$d_AA+d_BB=N$$

$$r=\frac{d_AA}{d_AA+d_BB} \quad \cdots\cdots (2.37)$$

（2.24と同じ）

$$d_A A = Nr \qquad d_B B = N(1-r)$$

を入れれば

$$N' = Ne^{-M}\left[re^{-\hat{q}X} + (1-r)\right] \quad \cdots\cdots (2.38)$$

(2.4 と同じ)

これは第二種利用度の場合と同じになる.

すなわち，漁場の内外で魚群の密度に差違があつても，漁場として利用し得る面積が等しいときは，第二種利用度として取り扱うことができる.

§2.9. 利用度の変化がある場合の見かけの生残率と真の生残率

相つづく二つの漁期について努力量あたり漁獲量を求め，この比によつて生残率を求めた場合，上記の各種の利用度の変化を考える.

§2.9.1. 第一種利用度の変化がある場合

漁場の外部にあつて利用できない部分を含めた全資源量に対する漁獲率は，式 (2. 7) で示されるとおり

$$E = \frac{\hat{q}X}{Z'}\left[1 - e^{-Z'}\right]$$

$$Z' = M + \hat{q}X/r$$

であり，1 漁期間の資源量の平均値は

$$\widetilde{N} = N\,\frac{1-e^{-Z}}{Z}$$

であるから，漁獲量 C は

$$C = EN = \hat{q}X\widetilde{N} \cdot \frac{Z}{Z'} \cdot \frac{1-e^{-Z'}}{1-e^{-Z}} \quad \cdots\cdots (2.39)$$

$$Z = M - \log\left[re^{-\frac{\hat{q}X}{r}} + (1-r)\right]$$

しかしながら，(2.39) の最初の 2 つの因子は，互に相殺しあい，Z、Z' の値が，それほど大きくない限りにおいて $C = N\hat{q}X$ あるいは，努力あたり漁獲量については

$$C/X = c \approx \hat{q}\widetilde{N} \quad \cdots\cdots (2.40)$$

すなわち，これはその漁期における平均漁獲量に比例するものとして扱つてもよいであろう．この場合，2 つの漁期における c の値の比は，実際の生残率に近い.

減少係数 Z については

$$Z = -\log\frac{c_2}{c_1} \qquad (\text{添字は漁期})$$

この場合，もし r が一定であれば，X と Z とは，さきに示した第13図のような回帰曲線を作るが，§2.2 で論じたように，r が平均値のまわりに確率変数としての性質をもつて変化するものであるとして，この回帰曲線と実際の資料からえられる Z との不一致が，r と，その平均値からの相違によつて生じたものであるとするに，第 2 次以上の補正を省略して

$$\Delta Z = \frac{\partial Z}{\partial r}\,\Delta r$$

$$\frac{\partial Z}{\partial r}=\frac{e^{-\hat{q}/rX}(1-\hat{q}/rX)-1}{e^{-(Z-M)}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.41)$$

となる．これに M, X, $\hat{q}$, $\overline{r}$ および，これらを入れてえられた Z の値を代入したものを $A\,(M,\ X,\ \hat{q},\ \overline{r})$ とすれば，

$$r=\overline{r}+\frac{\Delta Z}{A} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.42)$$

によつて各々の漁期の r がえられる．ことに ΔZ は実際の Z と回帰線上の Z の計算値との差である．

（例）カリホルニヤ，サージン

1932—52年の全漁期をひとつにした場合の計算で $\overline{r}=0.35$　$\hat{q}=0.0032$　$M=0.5$ が得られた．これを第一種利用度のみの変化によるものとすれば，$\hat{q}$ は実は $\hat{q}/\overline{r}$ の値であり $\hat{q}=0.0032\times 0.35=0.001120$ となる．

上式 (2.41, 2.42) に入れて各年の r を求めると下表のようになる．

第 16 表　第一種利用度のみの変化があるとした場合のカリホルニヤ，サージンの利用度

漁期	$\frac{1}{A}$	ΔZ	r	漁期	$\frac{1}{A}$	ΔZ	r	漁期	$\frac{1}{A}$	ΔZ	r
32	−0.39	0.35	0.49	41	−0.61	0.39	0.12	50	−0.64	−0.06	0.34
33	−0.70	0.64	0.79	42	−0.60	0.17	0.25	51	−0.61	−0.03	0.34
34	−0.65	−0.09	0.40	43	−0.61	0.15	0.24				
35	−0.52	+0.06	0.14	44	−0.60	−0.02	0.47				
36	−0.60	−0.54	0.67	45	−0.62	−1.31	1.08				
37	−0.61	−0.17	0.45	46	−0.62	−0.47	0.64				
38	−0.61	0.39	0.13	47	−0.61	0.00	0.35				
39	−0.61	−0.44	0.61	48	−0.61	1.44	−0.50				
40	−0.61	−0.72	0.78	49	−0.61	−0.59	0.00				

このようにして求めた r の値は 1 をこえたり，又は負になつたりするが，これは ΔZ に実は誤差を含むか，あるいは，第一種の利用度のみの変化として考えることが当を得ないことを示しているのである．

§2.9.2.　第二種利用度の変化がある場合

全資源量に対する漁獲率は，(2.20) により，

$$E=\frac{r\hat{q}X}{Z'}[1-e^{-Z'}]$$

$$Z'=M+\hat{q}X$$

よつて，前節のような意味での近似を考えると

$$\frac{c}{X}=c\approx\widetilde{N}r\hat{q} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.43)$$

したがつて，努力量あたりの漁獲量は，その漁期にあつて利用し得る量の平均値を比例し，前節の (2.40) に比して，r を因子として含んでいる．すなわち，引きつづく 2 つの漁期の c の値から求めた見かけ上の生残率は実際の生残率に利用度の比を乗じたものである．

すなわち，2 漁期の平均資源量を N_1, N_2，利用度を r_1, r_2，努力あたり漁獲量を c_1, c_2 とすれば

$$Z^*=-\log\frac{N_2}{N_1} \qquad \text{（真の減少係数）}$$

$$Z=-\log\frac{c_2}{c_1}=-\left(\log\frac{N_2}{N_1}+\log\frac{r_2}{r_1}\right)$$

よつて

$$Z=Z^*-\log\frac{r_2}{r_1} \quad \cdots\cdots (2.44)$$

(2.8 と同じ)

第 i 漁期から第 $i+1$ 漁期への減少係数の真の値を Z_i, $\bar{r}$, $\hat{q}$, X_i, M から計算した同漁期の減少係数の理論値，（これを期待減少係数ということにする）すなわち回帰曲線上の点の値を Z'_i とし，利用度の平均値 $\bar{r}$ と，実際の利用度 r_i との差による第一次の補正係数を B とすれば

$$Z_i^*=M-\log\left[\bar{r}e^{-\hat{q}X_i}+(1-\bar{r})\right]+B_i(r_i-\bar{r})$$

$$=Z'+B_i(r_i-\bar{r}) \quad \cdots\cdots (2.45)$$

ここに

$$B=\frac{\partial Z}{\partial r}=\frac{e^{-\hat{q}X}+1}{e^{-(Z-M)}} \quad (>0) \quad \cdots\cdots (2.46)$$

B_i は i における B の値

したがつて

$$Z_i=Z'_i+B_i(r_1-\bar{r})-\log\frac{r_2}{r_1} \quad \cdots\cdots (2.47)$$

すなわち，見かけ上の減少係数は，期待減少係数に，利用度と平均利用度の相違，および利用度の相対的変化という 2 つの原因による補正が加わつている．

もし，利用度の変化がゆるやかであれば，補正の第二項は第一項に比して小であろうが，もし利用度が漁期ごとにはげしく変化している場合には，第二項の方が大である．両項を合計したものについて考えると次のようになる．

すなわち，始めに仮定したように，利用度は平均値のまわりに確率的に変動し，またその変化率（前年比）もやはり確率的である．したがつて相当長期にわたる資料の蓄積があるとして考えると，

$r-\bar{r}$ の平均値，および $\left(\log\frac{r_i+1}{r_i}\right)$ の平均値は共に 0 となる．

§2.2. で取扱つた解法は，第 2 項に比して第 1 項が小さいとしたときの方法であつた．しかし，前の仮定を入れれば．

(i) 利用度が増大傾向にあるとき，すなわち $r_2>r_1$ のときは，r_1 が平均値 $\bar{r}$ より小さい確率は，同じく大きい確率よりも大きい．

すなわちある事象のおこる確率を $p_{r.}$ と示すと，

$$p_{r.}(r_1<\bar{r})>p_{r.}(r_1>\bar{r})$$

(ii) 利用度が減少傾向にあるとき，すなわち $r_2<r_1$ のときに $p_{r.}(r_1>\bar{r})>p_{r.}(r_1<\bar{r})$ である．何故ならば，例えば $r_2>r_1$ の場合について考えると，$r_1<\bar{r}$ であれば $r_2>\bar{r}$ のときは必ず $r_2>r_1$ であり，また $r_2<\bar{r}$ であつても $r_2>r_1$ となることがあり得るに対し，$r_1>\bar{r}$ の場合には，$r_2>\bar{r}$ の一部の場合にしか $r_2>r_1$ は起り得ないからである．

したがつて(1)の場合には，(2.47) の補正項について，$B(r_1-r)>0$ であるから，見かけの減少係数 Z は

真の減少係数 Z^*，および，期待減少係数 Z' よりも小さく，また，(2)のときにはこの逆となる可能性が大きい．

したがつて，見かけの減少係数 Z の，期待減少係数に対する2つの補正項は符号が同一となつて，したがつて変化が誇張して現われる可能性の方が大である．

よつて，§2.2. で求めた利用度の値も，その変化は若干誇張して示されている可能性があることを留意する必要がある．

§2.9.3. 第三種利用度の変化がある場合

資源に対する漁獲率は (2.32) すなわち

$$\left.\begin{aligned} E&=N\hat{q}\,\frac{r}{r'}X\left(\frac{1-e^{-Z'}}{Z'}\right)\\ Z'&=M+\hat{q}\,X/r' \end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(2.48)$$

は真の利用度，r' は面積利用度である．

§2.8.1. および §2.8.2. と同様な意味での近似値を考えれば

$$c=\frac{C}{X}\approx\widetilde{N}\,\hat{q}\,\frac{r}{r'}\quad\cdots\cdots(2.49)$$

相つぐ2漁期の c の比によつて得られた生残率は

$$\frac{c_2}{c_1}=\frac{N_2}{N_1}\cdot\frac{r_2}{r_1}\Big/\frac{r_2'}{r_1'}\quad\cdots\cdots(2.50)$$

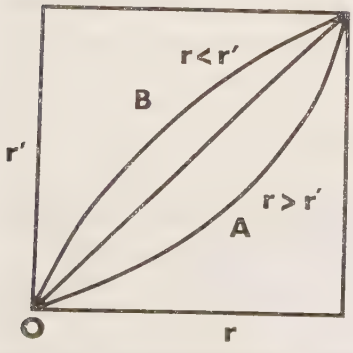
であり，これは真の生残率 $\frac{N_2}{N_1}$ に $\frac{r_2}{r_1}\Big/\frac{r_2'}{r_1'}$ という係数を乗じたものである．以後この係数を K と書き表わしてその性質を考えてみると，まず K が正数であることは明らかである．次にこの変化を考えると，

(A) 漁場の周辺部の密度が高く，面積の拡大が好漁場の拡大を意味する場合，

この場合は $r>r'$ であり，この両者が同一の値をとるのは，ともに0，又は1の場合のみである，

(B) 漁場の中心部の方が濃密で，漁場の面積の拡大が却つて漁場全体の平均密度の低下をまねく場合

この場合は $r>r'$ である以外は前と同じである．したがつて r と r' との関係は第17図で示されるとおりである．



第 17 図 第三種利用度の変動があるときの真の利用度 r と面積利用度 r' との関係

この図によつて示されるように，(A)の場合に利用度が比較的小さいときには，r の変化率に比して r' の変化率が小さく，また利用度が共に1に近いときは前者に比して後者が大であり，また(B)の場合に r' の変化率は，r，r' が共に0に近いとき大きく，1に近いときに小である．

これらの点を考えに入れて K の値をみると，

(A)の場合

(a) $r_2'>r_1'$ すなわち漁場の面積利用度が増大する場合，真の利用度もやはり増大して $r_2>r_1$ となるが $K=\frac{r_2}{r_1}\Big/\frac{r_2'}{r_1'}$ の値は

A—a—1； 利用度が0に近いとき

$$1<\frac{r_2}{r_1}<\frac{r_2'}{r_1'}\quad\frac{1}{r_2'/r_1'}<K<1$$

A—a—2； 利用度が1に近いとき

$$\frac{r_2}{r_1}>\frac{r_2'}{r_1'}>1\quad\frac{r_2}{r_1}>K>1$$

(b) $r_2<r_1$ のとき同様にして

A—b—1； 利用度が0に近いとき

$$\frac{1}{r_2'/r_1'}>K>1$$

A—b—2； 利用度が1に近いとき

$$\frac{r_2}{r_1}>K>1$$

(B)の場合

(a) $r_2'>r_1'$ のとき

B—a—1； 利用度が0に近いとき

$$\frac{r_2}{r_1}>\frac{r_2'}{r_1'}>1 \qquad \frac{r_2}{r_1}>K>1$$

B—a—2； 利用度が1に近いとき

$$\frac{1}{r_2'/r_1'}<K<1$$

(b) $r_2'<r_1'$ のとき

B—b—1； 利用度が0に近いとき

$$\frac{r_2}{r_1}<K<1$$

B—b—2； 同じく1に近いとき

$$\frac{1}{r_2'/r_1'}>K>1$$

すなわち $K>1$，あるいは，見かけの生残率が真の生残率より大であるのは

A—a—2，A—b—1，B—a—1，B—b—2，

また小であるのは，

A—a—1，A—b—2，B—a—1，B—b—1，

の各々の場合である．ここでA，Bは，それぞれ，漁場の縁辺部が濃厚，および中心部が濃厚な場合，(a)，(b)は，それぞれ，利用度が増大，および減少する場合，(1)，(2)は，それぞれ，利用度が0に近いか，または1に近い場合である．

そして K の値は，A—a—1，A—b—1，B—a—2，B—b—2のそれぞれの場合は，面積の逆数比より，また，A—a—2，A—b—2，B—a—1，B—b—1のそれぞれの場合には，利用度の比よりそれぞれ1に近い．

§2.9.4. 第四種利用度の変化があるとき

この場合は，前述のように，第二種利用度の変化におきかえることができる．

§2.9.5. 以上各種の場合の要約

(i) 第一種利用度の変動があつても，見かけの生残率は，真の生残率と等しい．また，平均利用度を用いた期待減少係数に，真の利用度の差に比例する補正を加えることによつて減少係数が求められる．

(ii) 第二種利用度の変動があるとき，（第四種利用度の変動もこれに帰着させることができる）見かけの生残率は，実際の生残率に，利用度の変動を乗じたものである．

この場合，期待減少係数に対する補正は，利用度のその平均値からの差と，利用度の相対的変化によるものの2つの部分からなる．

(iii) 第三種利用度の変動のあるとき，見かけの生残率は，真の生残率に，漁場として利用される面積比（面積利用度）の逆数，利用度を夫々乗じたものである．利用度の変化によつて受ける影響は，漁場の濃密な部分がその縁辺部にあるか中心部にあるか，または利用度が0に近いか1に近いか等によつて，種々な場合を生ずる．真の生残率に対する補正係数の値は，漁場の縁辺部が濃密で利用度が0に近いか，あるいは

中心部が濃密で利用度が1に近い，（すなわち，漁場の拡大縮少が濃密部に大きく影響しないとき）は利用度の比よりも1に近く，この逆に，漁場の拡大や縮少が濃密部に大きな影響をあたえるときは，面積比の逆数よりも1に近い．

§2.10. 生物学的利用度の変化の数学的模型

前にものべたように，魚群の漁具に対する反応の変化によつて，たとえば，（カツオの餌付不良のような）利用度の変化が生ずることがある．この場合は，第二種利用度の変化と同様に考えることができる．すなわち，漁場内にあつても，利用されない魚があることは，これが漁場外にあるものとして考えることができるからである．

§2.11. 各種利用度の実例と，その直接推定法

以上の諸節で，努力あたり漁獲量を比較することによつて，利用度を推定する方法についてのべた．

利用度を直接に求めるためには，漁場の内外を通じて，何らかの方法によつて魚の分布状態を知らなければならない．しかしながら，漁場内の努力量および漁獲量の分布を示す資料が得られるような調査は極めて少く，また，漁場以外の魚の分布を知ることは，米国等での航空機による魚群探査，あるいは魚群探知機による一斉探査（東海区水産研究所）等が僅かに行われている以外は皆無に近い．したがつて，現状においては利用度を直接に求め，これを推定値と比較することのできる例は殆んどない．間接的に，他の目的でおこなわれた調査結果から推定をこころみた一，二の例を下に記す．

(A) 産卵調査；産卵調査は，元来，産卵量から親魚量を推定するためのものであるが，これによつて，産卵親魚の分布する地域を推定するにも用いられる．したがつて，産卵魚を対象とする漁業の漁船の操業区域を示す資料があれば，利用度の推定ができる．

（例） 日本海イワシ流網漁業

山中・伊東（1957）によれば，日本沿岸のマイワシの卵は，距岸40浬近くまで分布するが，漁船の出漁範囲は10浬程度である．もし，この範囲内で，魚群も漁船も，同密度であるとすれば，利用度は10/40=0.25である．しかし，同報告によれば，卵は全体の30%以上が，距岸10浬以内に分布しているのであるから，もし，卵の分布が親魚の分布と比例しているものであるとすれば，利用度は0.30となる．§2.2.の方法で，日本海北部の利用度を計算すると，平均 0.5である．

この分布範囲の年々の変化は知られていないが，漁場として漁船の出漁できる距離は略々一定であり，親魚の分布のみが年々変化しており，かつ，漁場の内外で分布密度がことなつているので，これは第四種利用度の形で変化し，第二種利用度と同様な形で数学的に取扱うことができる．

なお，California sardine では，産卵期に漁業がおこなわれないため，この方法が用いられない．

(B) 漁獲量および努力当り漁獲量の地理的分布から，漁場以外の所では，努力量，漁獲量ともに資料が得られないのは当然であるが，年々の漁場別漁獲量，努力量等の地理的分布の変化から，利用度の変動の型式を，ある程度推察することができる．

(a) California sardine

1952—53年から3漁期にわたる漁場別漁獲量が得られる（CLOTHIER. et. al., 1956）これによると，経緯度各10′の矩形の数を単位として，この間の各漁期で漁獲のあつた面積の数は，1952—53年で36，53—54年で25，54—55年で62である．（§2.2.）（第14図）

しかしながら，このような，漁場面積の変化は，同時に，魚の分布密度の変化をも伴つているように見える．努力量の地理的配分については明にされていないが，1952—53年では，サンピドロ，サンタカタリーナ島附近の漁獲量が比較的均一であるのに対し，53—54，54—55年では密度に非常な相違があり，ことに，54—55年には，サンピドロ岬，デユーム岬附近のみに濃密な漁場が形成されている．したがつて，この場合の利用度の変動は，漁場面積の変化と，密度の変化が混じた第三種の変化とみるべきである．そして，巨視的にみれば，漁場は沿岸部で濃密であり，§2.8.3.でのべたB型に相当するが，サンカタリーナ島附近を局地的にみればこの附近で魚群はかなり濃密であり，しかもこの地域は，出漁面積が少いときに漁場面積に含まれない所をみると，A型としてみることもできる．

同じ CLOTHIER 其他の資料で，1930年代の豊漁年の漁場範囲と，上述の不漁時代（1950年代）のそれと

を比較する．1953—54年で，もつとも漁獲の少いときに残つた漁場であるサンピドロ沖およびポイントウエーネ沖の漁場を中心として，南部，西部，北部へと次第に漁場を拡大するというような思考実験をおこないこの場合の面積利用度，および真の利用度の変化を，それぞれくわしく検討した．この場合，努力量あたり漁獲の漁場別分布がないので，漁獲量のみをとつて考えた．（第17表及び第18図）

第 17 表　California sardine の漁場の拡大と利用度の変化（思考実験）

漁場名	漁場面積（経緯度各10′矩形数）	月累積値	面積利用度 r'	漁獲量 C	利用度 r	r'*
				トン		
Los Angeles	10	10	0.028	32,372	0.464	0.055
Pt. Hueneme	10	20	0.058	11,837	0.634	0.111
Oceanside	11	31	0.147	9,605	0.772	0.172
San Diego	14	45	0.187	3,919	0.825	0.249
S. Catalina Is.	8	53	0.210	2,524	0.865	0.294
S. Clemente Is.	19	72	0.265	4,678	0.932	0.399
Tanner Covtez Bk.	13	85	0.303	1,023	0.946	0.472
S. Nicolas Is.	16	101	0.349	319	0.951	0.560
S. Cruz Is.	21	122	0.410	2,333	0.984	0.670
Santa Barbara	12	134	0.445	217	0.987	0.744
Pt. Sal	16	150	0.492	82	0.988	0.831
Pt. Buchon	30	180	0.578	774	1.000	1.000
計	346			69,693		

* r は Monterey 以南のみを考えた面積利用度；努力量分布は一様とし，漁獲量をそのまま魚の密度分布を示すものとした．

漁場の面積が増大するにつれて，新しく加わつた漁場内の漁獲量の比率の増大率は減少する．そして，面積利用度にくらべて利用度が高いので，これは第三種B型の利用度の変化型とみることができる．

このように，この漁業の利用度の変化型式は，局地的にみるか，大きくみるか，長期にみるか，短期にみるか等によつて種々変つて来るが，漁獲努力量の分布が知られていないので，漁獲量の分布のみで利用度のパターンをみることはできない．

実際，さらにメキシコ領のバハ・カリホルニヤ州にまで拡大して考えると，この地方では大規模な漁業がないのに，産卵場の大部分がここに含まれ，さらに産卵の最も大規模なバハ・カリホルニヤ中部沖合では，小規模ながら周年に漁業がおこなわれている．すなわち，漁場の外に分布の濃い部分がふくまれているようである．

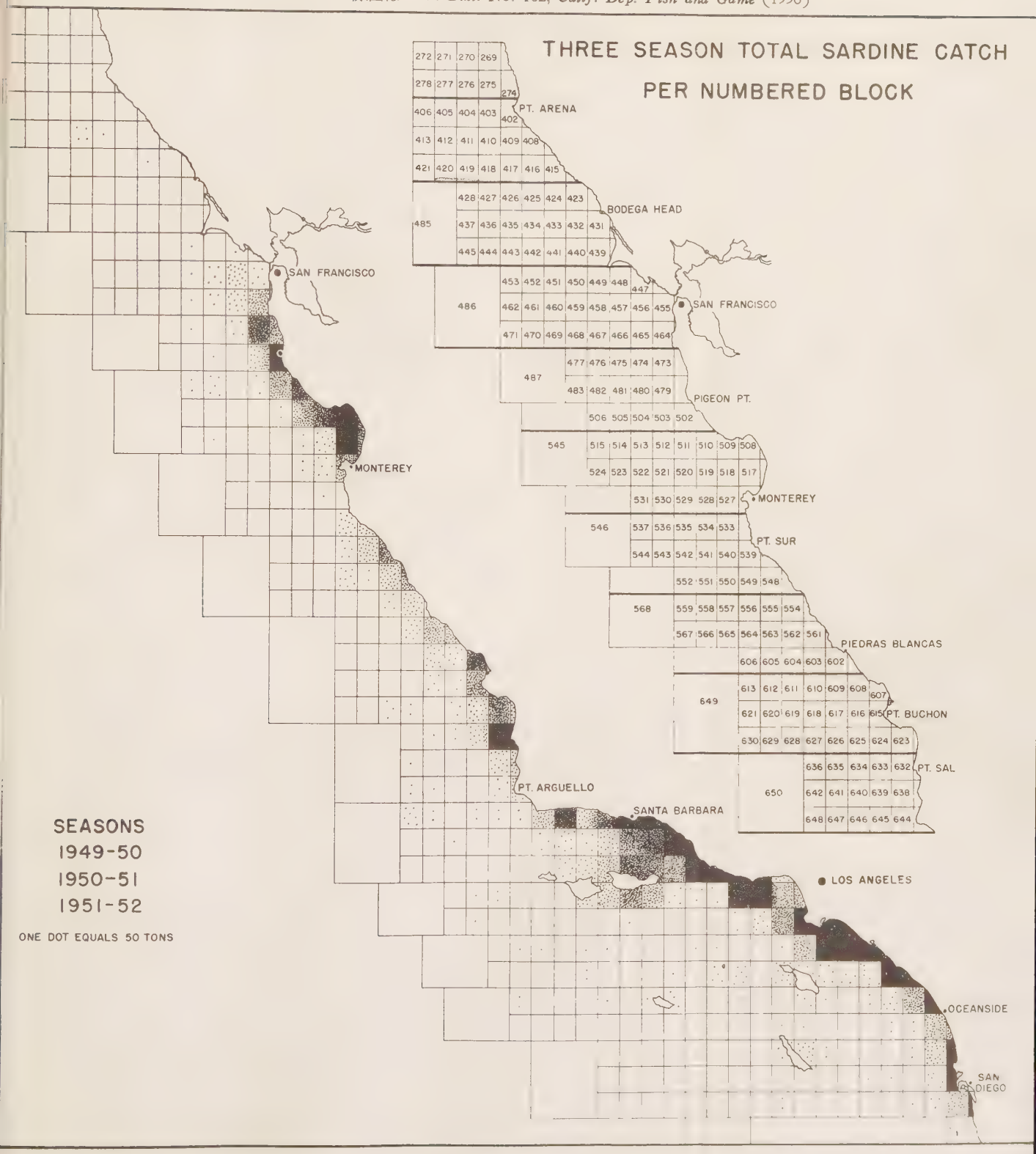
(b)　東北海区サンマ漁業

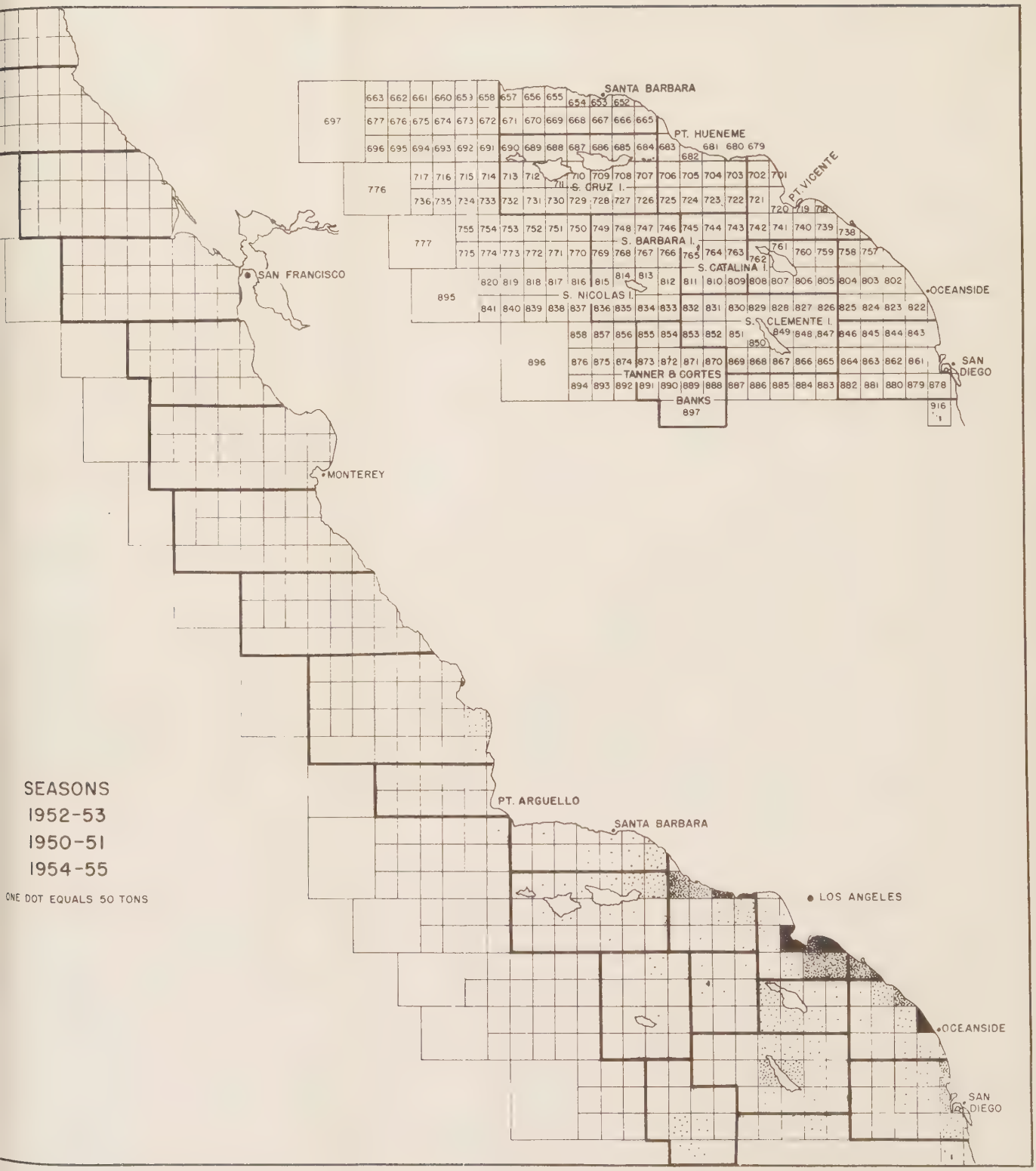
この漁業においては，漁場は主として三陸沖の沿岸部から東経144度内外までの間にできることが多いが時には147～148°E にまでおよぶこともある（また，この両者が分離して2つの漁場となることもあり（例1951年11月，1952年10月下旬）また，沖合の漁場がなく，沿岸のみに構成されることもある．木村（1956）によれば，サンマの好漁場となるのは，主として太平洋の蛇行状極前線の屈曲に沿うてであり，このような海流の蛇行は，150～160°E より東に何段にもわたつて生じている，したがつて，上述の沖合の漁場が生じなかつた時も，これは必ずしも魚群が存在しなかつたことを意味するものではなく，あるいは沿岸部に好漁場が生じているため，経費のかかる遠距離出漁を行う必要がない等の理由で，未利用のまま放置されたのであろう．

1951年9月下旬に，調査船の探査によれば，漁場は133～144.5°Eであるのに対し，魚群は152～3°Eの沖合にまで及んでいる．

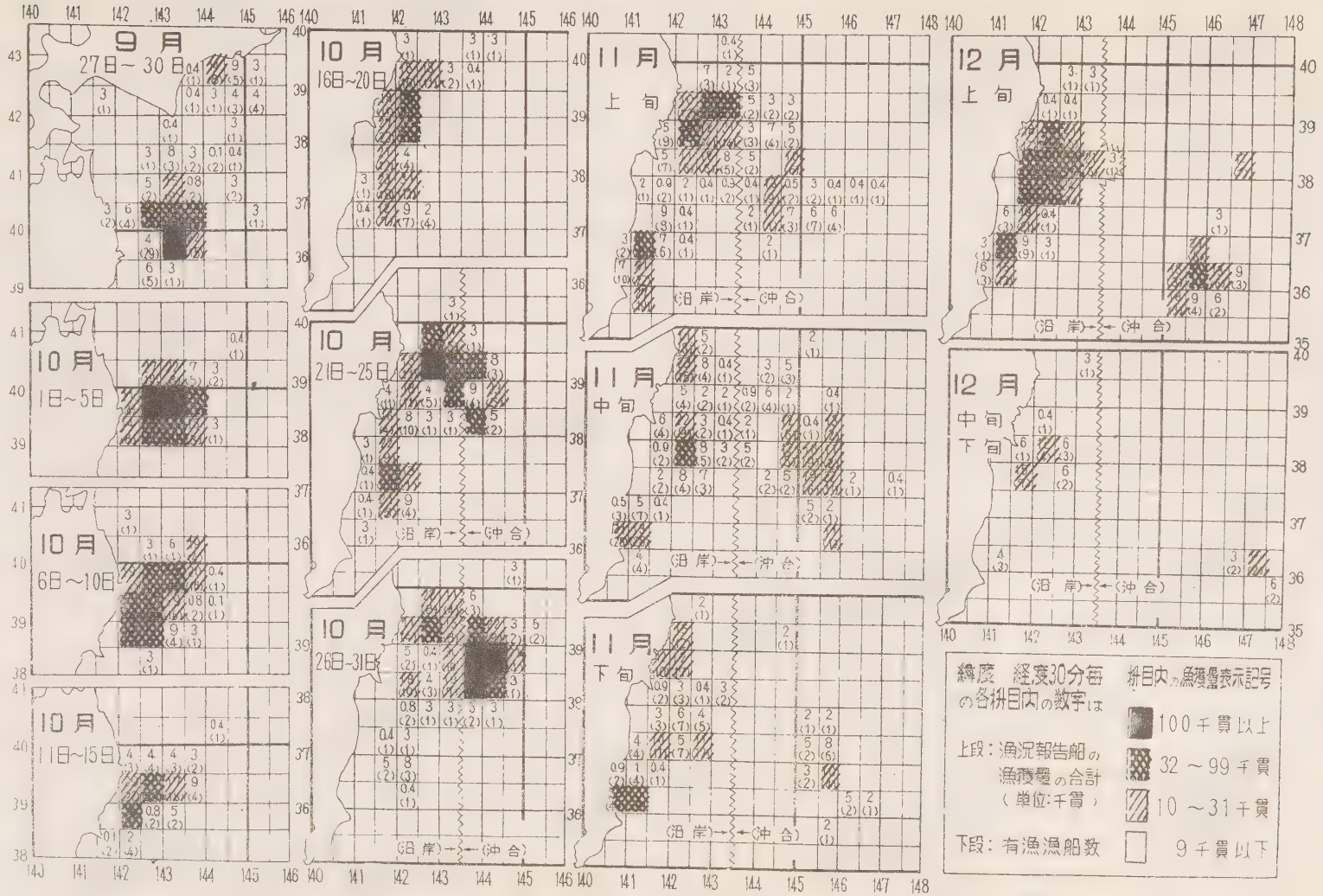
この沖合の漁場の密度は，沿岸のものよりも高いこともあり，低いこともある．そして1952年のように沖

第18図　カルホルニヤ・サージン漁場図　原図は *Fish Bull.* No. 102, *Calif. Dep. Fish and Game* (1956)



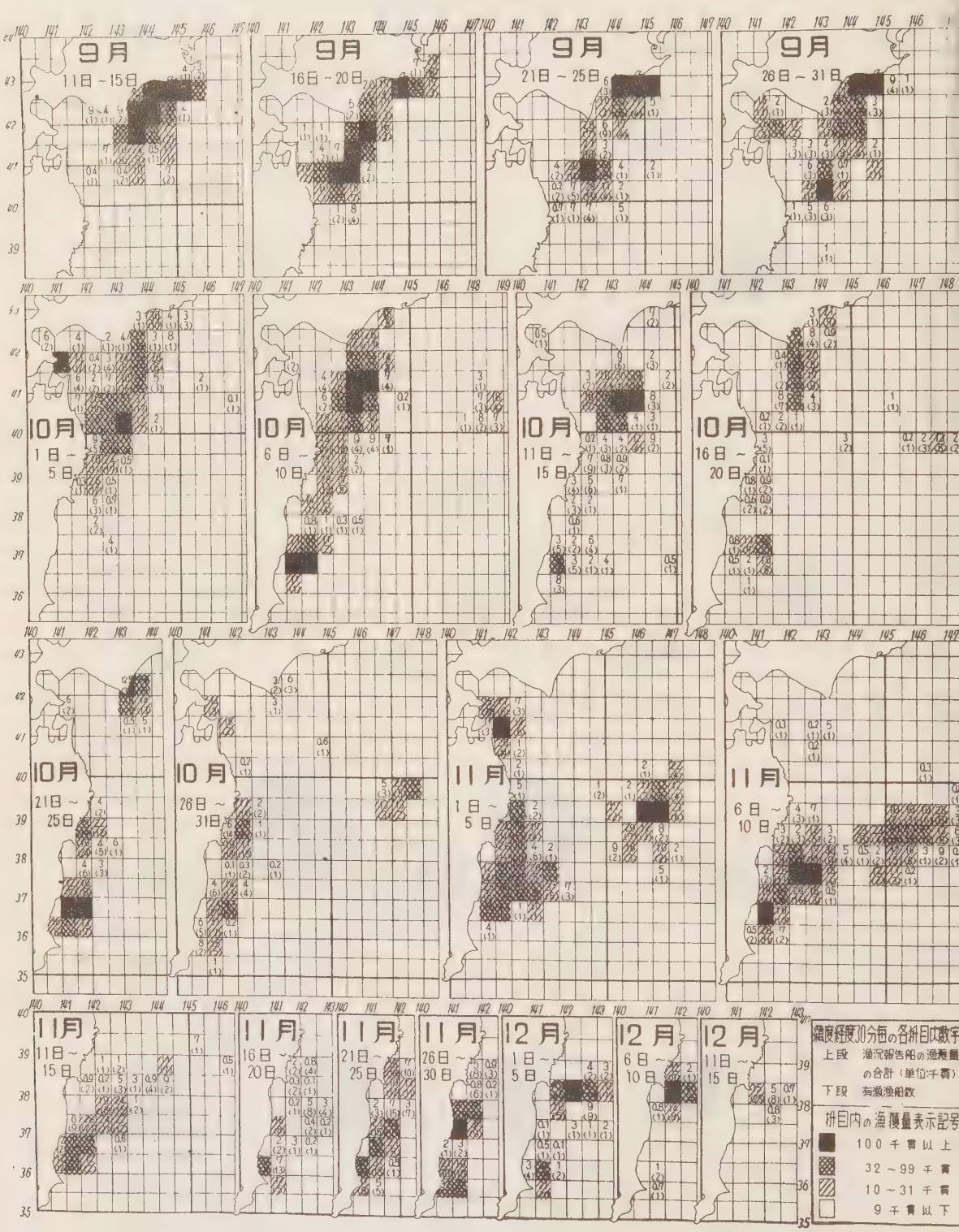

SANTA BARBARA
PT. HUENEME
PT. VICENTE
S. CRUZ I.
S. BARBARA I.
S. CATALINA I.
S. NICOLAS I.
S. CLEMENTE I.
TANNER & CORTES
BANKS
SAN FRANCISCO
MONTEREY
OCEANSIDE
SAN DIEGO
PT. ARGUELLO
SANTA BARBARA
LOS ANGELES
OCEANSIDE
SAN DIEGO
SEASONS
1952-53
1950-51
1954-55
ONE DOT EQUALS 50 TONS

第19図　昭和26年度　東北海区 緯度・経度 30 分枡目毎の半旬別サンマ漁獲量と有漁漁船数



原図は二色刷

原図は東北海区水産研究所報告 No. 14 (1960)


9月
11日～15日
9月
16日～20日
9月
21日～25日
9月
26日～31日
10月
1日～
5日
10月
6日～
10日
10月
11日～
15日
10月
16日～
20日
10月
21日～
25日
10月
26日～
31日
11月
1日～
5日
11月
6日～
10日
11月
11日～
15日
11月
16日～
20日
11月
21日～
25日
11月
26日～
30日
12月
1日～
5日
12月
6日～
10日
12月
11日～
15日
緯度経度30分包の各枡目内数字
上段 漁況報告船の漁獲量の合計（単位千貫）
下段 有漁漁船数
枡目内の漁獲量表示記号
100千貫以上
32～99千貫
10～31千貫
9千貫以下

合に出漁がない年の全漁場面積は，沖合漁場の発達した年よりも小さい．また，漁場面積の変化は，総漁獲量とも1網当り漁獲量ともあまり関係しない．

これらのことから，サンマ漁業では，利用度の変動は，大局的には，魚の分布面積に対する漁場面積の相対的比率の変動による第一種の型を有している．そして，漁場内外の密度の差は年によつてことなつているので，第三種の型式として見ることもできるが，A型かB型かは，年により一概に言えない．（第19図および第18表）

第 18 表　東北海区サンマ漁場面積と漁獲量

年	平均漁場面積	漁　獲　量	1網当り漁獲
		kg	kg
51	27.8	34.5×10^6	218
*52	21.1	59.4	225
53	26.9	67.6	256
56	29.8	87.4	286

*　沖合漁場発達せず
漁場面積は経緯度各 30′ 区内の矩形数とし，全漁期を通じて5～10日間の出漁区域数を平均したもの

(c)　日本海西南海区以東底曳網漁業

(i) 全魚種について

1947—48，49—50の3漁期にわたり，主として兵庫県の漁船のみについて，この漁業の曳網数，および漁獲量の地理的分布のありさまを示すと第19表のようになる．

第 19 表　日本海西南海区における以東底曳網漁業の漁場面積，努力当り漁獲の分布等

漁　期	延有漁区数	1月平均有漁区数	努力量（全域）（曳網数）	1曳網当り平均漁獲量	総漁獲（全域）
			万	kg	万トン
1947—48	138	79	26.9	201	4.51
48—49	186	81	30.4	160	3.96
49—50	163	50	31.4	166	3.98

漁区数は経緯度各々 10′ の矩形数である

兵庫県の船のみについての努力量，および漁獲量の全数調査がおこなわれず，また，1950年以降は全数調査のみで漁区別の努力量，および漁獲量の配分がおこなわれなかつたため，十分な検討ができない．

得られた資料のみから判断すると，兵庫県の船は1948年にくらべて1949年では出漁した漁場面積が減じているが，1曳網当り漁獲量にはあまり変化がない．一方，他の県をふくめた全域では，総曳網数も総漁獲量もあまり大差はない．出漁した面積の変化があつても，努力当り漁獲量，総努力量等に変化がないところからみて，第一種の利用度の変化を考えることができよう．

また，この海区では，1952年に朝鮮東岸に出漁した．その当時の努力量，および漁獲量の地理的分布は詳かでないが，兵庫，鳥取両県船の1曳網当り漁獲量は，この年のみ前後の年より増大している．（第20表）

第 20 表　鳥取，兵庫両県以東底曳船（東韓出漁船）の努力当り漁獲量

	1951	1952	1953
	kg	kg	kg
兵　庫	163	184	150
鳥　取	138	146	127

これは一時的な第三種利用度（A型）の増加例とみることができる．

(ii)　特定魚種について

この場合，全魚種よりもさらに資料が乏しく取扱が困難である．

第 21 表　日本海西南海区以東底曳漁業によるニギスについての漁区数，努力当り漁獲量

(イ)ニ　ギ　ス

	延有漁漁区数	月平均有漁漁区数	曳網当り漁獲 対象船	曳網当り漁獲 全船	総漁獲（全船）
			箱	kg	トン
1948	86	27.4	3.0	5.6	1,700
1949	66	16.6	2.5	3.4	1,060

1949年で出漁漁区数は京都，兵庫両県沖合で特にいちぢるしく減じているが，1曳網当り漁獲量の減少は，日本海西南海域一様におこつている．また，島根沖の好漁場がこの年には漁場から外れている．これらの諸点から，この魚は，全漁種を通じてみた場合と同じく，第一種利用度の変化に，第三種（A型）の変化が重なつているようにみえる．年令組成や，生残率を示す資料がないので，この減少が，利用度の変化によるか，あるいは生残率の変化によるか十分に吟味できない．（第22表）

第 22 表　日本海区以東底曳漁業によるアカムツの漁区数及び曳網当り漁獲量

(ロ)ア　カ　ム　ツ

漁期	延有漁漁区数	月平均有漁漁区数	曳網当り漁獲 対象船	曳網当り漁獲 全漁場	漁獲量
			箱	kg	トン
1948	302	33.6	1.02	9.0	2,738
1949	122	15.3	0.79	6.2	1,988

アカムツの主漁場である山陰西部で，1949年には，漁場別資料の得られた船（主として兵庫県船）は漁期の後半には全く出漁していない．このため出漁漁場面積は半分近くに減じている．全漁場を通じての努力当り漁獲量と，対象として扱つた兵庫県の船についてのみのそれとの変動のしかたは大差ない．

しかし，1949年に，漁場からはずれた地域は，アカムツと同様，比較的魚群濃厚な 200m等深線の内側である．

一方，この2漁期の漁獲物の年令組成は，どちらも1才と2才との，2つの年令群が大部分をしめ，しかもその組成にはほとんど変化がない．これは，1才魚から2才魚への生残率の減少と，1才への加入量とが同率に減少したとも考えられるが，それよりも，漁場における密度の変化によると考える方が妥当であろう．

1950年以後は年令組成は知られているが漁場別の努力当り漁獲が知られていない．しかし，各年級にわたり見かけ上の生残率の変動がきわめて大である点からみて，漁場全体にわたり密度の変化を与える第二種利用度の変化に分布周辺部が漁場に入つたり除かれたりして生ずる第三種利用度（A型）が加わつているものと考えられる．

(ハ)ソウハチガレイ（第13図）

この魚種は，1956年以降，体長の大きいものによつて漁獲が増大しているので，利用度の増大が推察されるが，これを確認する漁場別資料が得られない．

(d)　以西底曳漁業

漁場ごとの漁獲量と漁獲努力の分布についての統計に関するかぎりにおいて，以西底曳網漁業の資料はよくなりよく整っている．

1945年より52年までは，いわゆるマツカーサー・ラインにより漁場が制限され，利用度は，同ライン廃止前にくらべ低下していた．

ライン廃止前後各3年間の資料について，操業がおこなわれた小海区の n，努力量（曳網数 X）漁獲量 C，および曳網当り漁獲量 $c=C/X$ の値を第23表で示す．この場合，もつとも漁獲の多い1～3月のみについて取扱つた．

第 23 表　以西底曳漁業漁場面積と曳網当り漁獲量（漁場面積は経緯度各々矩形数）

	ライン内				ライン外				計			
年	n	C	X	c	n	C	X	c	n	X	C	c
1950	91.6	60,262	114,570	525.7					91.6	60,262	114,570	525.7
51	62.3	60,739	86,689	700.5					62.3	60,738	86,689	700.5
52	71.0	66,873	99,483	672.0					71.0	66,873	99,483	672.5
53	79.0	26,017	64,670	402.0	77.3	43,556	46,473	937.1	156.3	66,933	111,843	601.1
54	74.3	32,198	58,002	555.0	67.2	35,126	55,339	634.5	141.5	67,646	113,237	597.4

これによつて知られることは，

(a)　漁場面積は，ほぼ2倍に拡大したのに対し，c の値は，このために著しい変化はない．

(b)　総漁獲量が若干ましているが，旧ライン内では X，C，c が共に減じ，これらの値はライン外の方がはるかに大である．

ラインによる漁場制限は，漁場の面積をせばめるとともに，密度の高い漁区を漁場の外においた．したがつてこの場合，第三種A型の利用度の変動があつた．ライン廃止後，魚の密度がそのままであつて，しかも旧ライン内のみで漁獲がおこなわれれば，その場合の利用度は，

1953年　$\dfrac{402.0\times 79.0}{402.0\times 79.0+937.1\times 77.3}=0.305$

1954年　$\dfrac{555.0\times 74}{555.0\times 74.3+634.5\times 67.2}=0.491$

となる．

ライン廃止前のライン内の c の値は廃止後よりはるかに大である．これは，ライン存在時代の漁場記録に偏りがあつたことを暗示するが，かりにこの記録が正確であつたとすれば，定められた漁場内に魚群が濃厚に集り，第二種利用度の増大をまねいたとみることができる．

1953，54の両年の操業範囲は完全に利用されているものとし，この両年の平均資源量は全部ライン内の漁場内で密集しているとすればそのときの c の値は夫々

50年　$\dfrac{601.1\times 156.3+597.4\times 141.5}{2}\Big/91.6=\dfrac{942,420.2}{91.6}=1,029(kg)$

51年　$942,420.2/62.3=1,512(kg)$

52年　$942,420.3/71.0=1,327(kg)$

したがつて各年の第二種利用度は

1950年　$\dfrac{525.7}{1,029}=0.52$

1951年　$\dfrac{700.5}{1,512}=0.46$

1952年 $\frac{672.0}{1,327}=0.51$

となる．

ライン廃止前の利用度推定値が廃止後より大であるのは，実際には廃止前もかなりの量がライン外で漁獲されていたことを暗示する．

第3章　利用度の変動，漁場の面積の変動，および漁場の移動がある場合などの努力あたり漁獲量，および資源量指数

§3.1.　漁場のひろがりを考えに入れた資源量指数

前章までに何度ものべたように，努力あたり漁獲量は，その漁場内の魚の密度に比例する．したがつて，実際の資源量の大きさを示す指数として用いるときは，当然，その魚の分布する面積を，また，資源のうちの利用しうる部分のみの量を示すときは，漁場として用いられる面積をそれぞれこれに併わせて考えなければならない．

第2章でのべた第一種利用度の変化があるときには，この場合の比例常数には利用度 r の値を含まないが第二，第三，および第四種の利用度の変化があるときにはこれを含んでいる．

したがつて，純粋に第一種利用度のみの変化のある場合以外は，努力量あたり漁獲量はそのままでは資源量の大きさを示さず，また第二種利用度のみが変化する場合を除いては，漁場内の資源量の値をも，そのままでは示さない．

簡単にするため，利用度が1の場合について考えよう．この場合でも，たとえ海中にある魚が同量であつても，これが狭い地域に集中し，同時に漁業のおこなわれる面積も狭くなれば，魚群の密度はこの面積の縮小に逆比例し，努力量あたり漁獲量の値が増大する．

もし，漁場の面積と，漁場のあらゆる部分ごとについて努力あたり漁獲量 c の値が求められているときには，c の値を面積について積分することによつて，資源量指数として c にかわるものを求めることができる．

すなわち

$$N\sim\int_c c\,ds \qquad ds \text{ は面積素片} \quad \cdots\cdots(3.1)$$

前章にのべたいくつかの例に示すように，経緯度などによつ漁場が区劃され，そのそれぞれについて努力量と漁獲量が計算されている場合には

$$N\sim\sum_i c_i \quad \cdots\cdots(3.2)$$

としてこれを求めることができる．

このような小区劃に別れた漁場別統計がある場合に，c として

$$c=\frac{\sum_i c_i}{\sum_i X_i} \quad \cdots\cdots(3.3)$$

を用いるのが常である．しかし，もし漁場内での密度にあまり差のないときには

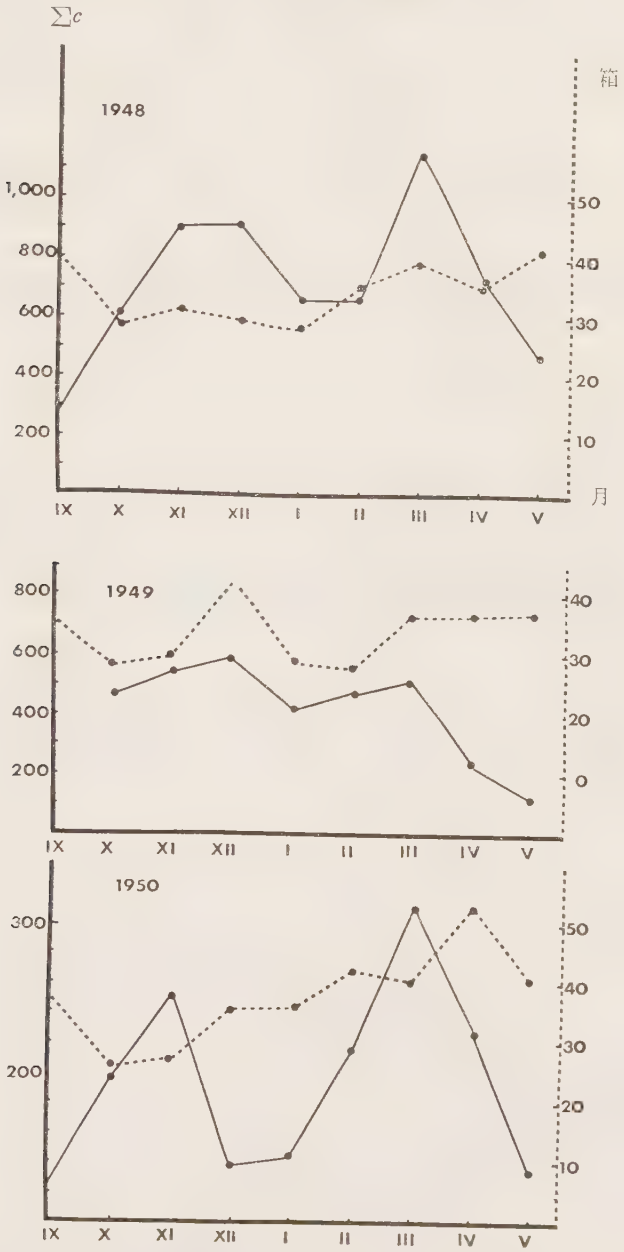
$$N\sim cn \quad \cdots\cdots(3.4)$$

（n は魚の分布する小区域）

として取扱つても実用上の差支えはない．

漁場の面積のひろがりを考えに入れないとき，もし魚群の来遊面積がせまく，局地的な密度が高い場合には，前章でのべた第二種利用度が増大する場合と同じく，見かけの努力あたり漁獲量は，資源量指数としては過大な値をとる．これに対し，第一種利用度が減じているような場合には，漁場内のみについて加え合わせた努力量あたり漁獲量は資源量指数としては当然過少である．

実例として，日本海西部の底曳漁業について，この両者を比較すると第20図のようになる．



第 20 図　日本海西南部以東底曳漁業努力あたり漁獲量 c（実線）およびこれを漁場全面積で加えたもの（点線）

漁場全部について求めた努力当り漁獲量の漁期内の変化にくらべると，これを全漁場にわたつて加え合わせたものの方が変化が多い．また，漁期の終了にさきだつて曳網当り漁獲量 c の値があまり変化していな

いのに，$\sum_i c_i$ の値が著しく低下している．これは，漁期の終りには，漁期として用いられる面積が極めて小さくなつているためであるが，このときの努力量自体の変化はあまりない．すなわちこれは漁場の範囲に集つているためである．

前章で，日本海西南海区の底曳漁業は，漁期によつて第一種利用度の変化が生じていることをのべたが，漁期中でも，この種の利用度が変化しているものと思われる．

なおこの $\sum c_i$ を c のかわりに用いて，この報文の最初にのべた（1．2）で示した方法を適用して $\hat{q}$ と M を推定すると，c を用いたときの方が M は大であり，また $\hat{q}$ は小さい．しかしこれ等の差は有意でない．（$\alpha=0.05$）

第 24 表　資源量指数による資源量特性値の推定

	$-M$		$\hat{q}$ ($\times 10^{-4}$)	
	1948	1949	1948	1949
c による	0.24	0.20	0.065	0.058
$\sum c_i$ による	0.11	0.17	0.031	0.034

（日本海西南海区以東底曳網漁業）

但し $\sum c$ を用いた場合の $\hat{q}$ は，求めた数値をさらに小海区数の平均値で除したものを示した．なぜならば前の場合の $\hat{q}$ は，1 曳網の漁獲努力が，漁場内の魚のどの位の割合をとるかという比率であるに対し，後の場合では，同じく 1 小区劃内の魚のどの位になるかを示す比率であるからである．

§3.2.　漁場のひろがりを考えた場合の各種利用度と努力あたり漁獲量，生残率など

(a)　第一種利用度の変化があるとき，努力あたり漁獲量 c は（2.40）により

$$c=N\hat{q}$$

であり，ここには利用度 r の値はあまり反映していない．しかし，漁場面積は利用度に比例する．したがつて，漁場面積を乗じたものは

$$c'\approx\widetilde{N}r\hat{q} \quad \cdots\cdots (3.5)$$

（2.39と同じ）

となり，これは資源量のうち利用しうる部分に比例する．したがつて相次ぐ 2 つの漁期の c' の比は

$$\frac{c_2'}{c_1'}=\frac{N_2}{N_1}\cdot\frac{r_2}{r_1} \quad \cdots\cdots (3.6)$$

となり，これは資源量の比と，利用度の比との積になる．

(b)　第二種利用度の変化があるとき

この場合，漁場面積には変化がない．

(c)　第三種利用度の変化があるとき

前章（2.42）により

$$c=N\hat{q}\frac{r}{r'}$$

r は面積利用度，r' は真の利用度である．

したがつて，漁場面積を乗じたものは

$$c' \approx \tilde{N} r \hat{q}$$

となる．これは r' を含まず，利用度のみが作用し，第二種利用度の変化の場合と同様になる．

§3.3. 漁期内に魚群の交代がある場合の漁獲率，時間的利用度

回遊魚は，その来遊遊散の様子によつて，c の値に複雑な形の影響をあたえることがある．

漁期中に利用度が変化して，同一の魚があるときは利用され，また，あるときには利用されない状態となることは，しばしば認められることである．

たとえば，日本海の流網による大羽イワシ漁業では，島根，山口県地方で11～12月に漁期がはじまり，その後，漁場が東進して，秋田，青森等の諸県では6月ごろ漁期が終るのであるが，この際，同一の魚群が次第に東進しているのか，あるいは次々に別な魚群が現われるのか，さらに，同一地点でも漁期の始めから終りまで同一の魚群が滞留しているか，あるいは交代があるかなどによつて，取り扱い方がかわる．

（例）　ある地点で現われる魚群が次々に交代する場合

日本海の大羽イワシを例にとる．ひとつの漁場での漁期は，4月中旬～6月上旬の30～50日であるが，漁獲物の体長組成，生殖腺熟度，漁獲量の毎日の変化などからみると，この漁期中に，魚群は何度か交代し，同一魚群は3～10日間しか漁場にとどまつていないようにみえる（伊東　1958）

漁場素片を dA，魚群の滞留期間を τ，努力あたり漁獲量のこの地点での値を $c_A(t)$ とするとき，$c_A(t)$ は時間 t，漁場 A における魚群密度で，その総資源量 N は

$$N = \int_t \int_A \frac{c_A(t)_N dt dA}{\tau} \quad \cdots\cdots (3.8)$$

となる．

c を時間と，空間の両方について平均したものを $\overline{c}$，漁場の総面積を A，漁期の長さを T とすれば

$$N = \frac{TA}{\tau}\overline{c} = \frac{TA}{\tau} \cdot \frac{\sum C}{\sum X} \quad \cdots\cdots (3.9)$$

ここで，C X は小区劃に区切られた漁場の各部分，および各時刻における漁獲量と努力量とである．

すなわち，この場合，漁期を通じて，その平均努力あたり漁獲量を T/τ 倍すれば資源量指数となる．

自然死亡は，魚が漁場の中にいると否とを問わず作用するものであるが，いま，漁場への来遊は一様であると仮定する．ここで一様というのは，もし漁場に入るまでに自然死亡がないなら，同一時間に同一量が漁場に加入することを意味する．

漁期始めの総資源量を N

$$\frac{N}{T} = f^* \quad \cdots\cdots (3.10)$$

とすれば，$t \sim t+\Delta t$ という小時間内に漁場に来遊する魚の量は

$$\Delta N = f e^{-Mt} \quad \cdots\cdots (3.11)$$

である．これが τ という時間だけ漁場にとどまつているのであるから，この間に漁獲される魚の数について考えると，

$$\left.\begin{aligned} C_{(t)} &= f e^{-Mt} \hat{q} X_{(t)} \frac{1 - e^{-Z(t)\tau}}{Z_{(t)}} \\ Z_{(t)} &= M + \hat{q} X_{(t)} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (3.12)$$

全漁期（長さ T）を通じて漁獲される総量は（時刻 $t=0$ を漁期の始めとする）

---

* f は有効漁獲強度を示す記号として用いられることもあるが，本報文では全くことなる意味に用いる．

$$C=\int_0^T C_{(t)}\,dt \quad \cdots\cdots (3.13)$$

X は漁獲中は一定であるとすれば Z も一定となる．このとき

$$C=\int_0^T fe^{-Mt}\hat{q}X\frac{1-e^{-Z\tau}}{Z}dt=f\hat{q}X\frac{1-e^{-Z\tau}}{Z}\int_0^T e^{-Mt}dt$$

$$=f\hat{q}X\frac{1-e^{-Z\tau}}{Z}\cdot\frac{(1-e^{-MT})}{M}\approx f\hat{q}X\tau T=N\hat{q}X\tau \quad \cdots\cdots (3.14)$$

$$\begin{cases}\dfrac{C}{X}=N\hat{q}\tau\\[2ex] \dfrac{C}{N}=E\approx\hat{q}\tau X\end{cases} \quad \cdots\cdots (3.15)$$

また，t から $t+\Delta t$ までの間に漁場に入り，漁期の終り $t=T$ までに生きのこつた魚の数は

$$S_{(t)}=fe^{-Mt}\cdot e^{-(M+\hat{q}X)\tau}\cdot e^{-M(T-\tau-t)}$$

$$=fe^{-(M+\hat{q}X\tau)} \quad \cdots\cdots (3.16)$$

である．第一の因数は漁場に入つた魚，第二の因子は漁場内の減少，第三の因子は漁場外の減少である．(3.16) の右辺は t を含まおいから，全資源量 $N=fT$ については，

$$S=fTe^{-(MT+\hat{q}X\tau)}=Ne^{-(MT+\hat{q}X\tau)} \quad \cdots\cdots (3.17)$$

$$Z=-\log\frac{S}{N}=-\log S=MT+\hat{q}X\tau \quad \cdots\cdots (3.18)$$

となる．さらに，漁期の長さ T を単位にとれば

$$Z'=M+\hat{q}X\tau \quad \cdots\cdots (3.19)$$

となる．この $'$ 印は $Z=M+\hat{q}X$ と区別するために用いた．

もし，相つぐ2つの漁期の長さ，およびそれぞれの漁期で，漁場に滞留する長さなどが，ともに等しい場合には，努力あたり漁獲量から求めた生残率の値には偏りを生じない．しかしながら，これと努力量との関係 (1. 2) から求めた漁獲係数は，実は τ を係数として含んでいる．

日本海大羽イワシで，漁期の長さを60日，漁場滞留時間を3日とする．伊東(1958, 既述) は，局地的の産卵量を推定し，これと平均抱卵数から親魚数を求め，同一時，同一地域の漁獲量と比較して，1日単位の漁獲係数を0.013～0.023とした．1漁期についてはこの値を60倍して $F=0.78$ 乃至1.38となる．この期間を単位として $T=1$ とすれば $\tau=\frac{3}{60}=0.05$，$F\tau=\hat{q}X\tau=0.036$～0.069 となる．

一方，年令組成と努力量から求めると，前に§1.2.1. で求めた $\hat{q}$ と X から，τ を含んだ漁獲係数 $\tau F=\hat{q}X$ の値は0.12～0.04となり，この両者にいちぢるしい相違があるが，両法ともその基礎となる資料の正確さ，また前者では親魚の産卵回数抱卵数などを明らかにしなければ，この相違の原因を明らかにすることはできない．

漁場滞留時間を10日とすれば $\tau=\frac{1}{6}$ で，前者の方法を用いれば $F\tau=0.13$～0.23 となり，この相違は小さくなる．

§3.4. 漁期が一年のうちのある一部分だけである場合の漁獲率

前節の考えは，自然死亡率は，魚が漁場の内外にいるをとわず作用し，1漁期中のある小部分にのみ漁場に入るとしたのであるが，この考えは，一年のうち，漁場がある短時間にかぎられている場合も，同様に考

えることができる．

この報文の初めにのべた基本式

$$\left.\begin{aligned} E&=\frac{\hat{q}X}{\hat{q}X+M}\left[1-e^{-(\hat{q}X+M)}\right] \\ Z&=\hat{q}X+M \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1.4)$$

に立ちかえつて考えてみよう．

この場合，M，Z，$\hat{q}X=F$，および E は一年を単位とする値である．そして (1.2) によつてこれらを求めるとき，自然，漁獲の両死亡率は双方とも周年作用するものとして求められた．しかしながら，1つの漁業が周年おこなわれるということはあまりなく，多くの場合，漁期は比較的短い．また，自然死亡率の原因として考えられる食害，飢餓，病気など，また，実際の死亡でなくても，結果としては死亡と同様に取扱われるべき逸散についても，これらがいずれも周年均等に作用していると考えることは適切でない．たとえば，食害では，捕食種の漁場における回遊状況や，その量などに左右され，また，飢餓は食餌の時間的，空間的分布などに左右されるであろう．

基本式 (1.1)

$$\frac{-dN}{dt}=N(F+M)$$

において，F の値は漁期以外では0であり，自然死亡も，これが作用する時期以外では0である．このような考えのもとでは，上式を積分すると

$$N_{(t)}=N_0\exp.\left[-\left(\int_0^t F_{(t)}dt+\int_0^t M_{(t)}dt\right)\right] \cdots\cdots\cdots\cdots(3.20)$$

dt なる時間素片での漁獲量は

$$dC=N_0F_{(t)}\exp.\left(-\int_0^t Fdt-\int_0^t Mdt\right)dt$$

$$C=N_0\int_0^t F_{(t)}\exp.\left(-\int_0^t Fdt-\int_0^t Mdt\right)dt \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3.21)$$

となる．

(i)　$0\leqq t\leqq t$ なる漁期内のみで $F=\hat{q}X_{(t)}$，t のその他の変域では $F=0$，また，自然死亡率は一定で，周年作用する場合

このとき，漁期の始めに N_0 であつた資源量は，一年の後には

$$N_1=N_0\exp.\left[-\left(\hat{q}\int_0^T Xdt+M\right)\right] \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3.22)$$

となる．

$$\int_0^T X_{(t)}dt=X \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3.23)$$

であるから，

$$\left.\begin{aligned} N_1&=N_0\exp.^{-(\hat{q}X+M)} \\ \hat{q}X+M&=Z \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3.24)$$

とすれば，これは従来の方法と全く相違なく，(1.2) によつて求めた $\hat{q}$，M の値には何の変更をも加える

必要はない．

漁獲量 C は

$$C=N_0\int_0^T \hat{q}\,X(\tau)\exp.\Big[-\int_0^t(\hat{q}X_{(t)}+M)dt\Big]dt \cdots\cdots\cdots\cdots (3.25)$$

となる．

長年の漁期にわたる資料を比較する場合には，1漁期中での努力量 $X_{(t)}$ は一定であるとしても差支はないであろう．よって

$$X_{(t)}=\frac{X}{T}=\overline{X} \cdots\cdots\cdots\cdots (3.26)$$

と書くことにすれば，

$$C=N_0\hat{q}\int_0^T \overline{X}e^{-(\hat{q}X+M)t}dt=N_0\hat{q}\,\overline{X}\frac{1-e^{-(\hat{q}X+M)T}}{\hat{q}\,\overline{X}+M}$$

$\overline{X}T=X$ であるから，上式は

$$C=N_0\,\hat{q}\frac{X}{T}\cdot\frac{1-e^{-(\hat{q}X+MT)}}{\hat{q}\frac{X}{T}+M}$$

$$=N_0\,\hat{q}\,X\frac{1-e^{-(\hat{q}X+MT)}}{\hat{q}X+MT} \cdots\cdots\cdots\cdots (3.27)$$

この値は漁期が周年である場合に比して

$$\alpha=\frac{\hat{q}\,X+M}{\hat{q}X+MT}\cdot\frac{[1-e^{-(\hat{q}X+MT)}]}{[1-e^{-(\hat{q}X+M)}]} \cdots\cdots\cdots\cdots (3.28)$$

倍となる．この α の値は M の値が大きく，また T が短いほど大きいが，$\hat{q}X+M$ の値があまり大きくないとき α は1よりあまり大きくはならない．

（例）第1章でのべたように，California sardine では，業者協約により，漁期は9～11月の3カ月に定められている．すなわち $T=\frac{3}{12}=\frac{1}{4}$ である．前にのべたように，(1.2) を用い $M=0.31$，$\hat{q}=0.67\times10^{-3}$，$X$ は平均 $0.76\times1,000$ (boat-month) であるが，これらの値を入れると

$T=1$ のとき　$E=0.46$

$T=\frac{1}{4}$ のとき　$E=0.51$

$\alpha=0.51/0.46\fallingdotseq1.1$

実際の漁業を論ずるとき，この程度の修正はそれほど重大ではない．

(ii)　自然減耗が短時間におこる場合

自然減耗として取扱われる現象が，実は漁期後の逸散であるとか，あるいは漁期以外の食害などで，これらが比較的短い時間で行われ，しかもこの間（$0\leqq t\leqq T$）でこの値が一定であり，また自然減耗の生ずるのは漁期外であるとする．すなわち，魚群は漁期にさきだつて T だけの期間だけ自然減耗をうけ，その後に漁獲の影響があるとする．自然減耗のおこるのが漁期後であつても同様である．

前節でのべたと同じく，漁期中の努力量の総和を X とすれば

$$\left.\begin{aligned}N_1&=N_0e^{-(\hat{q}X+MT)}\\Z&=\hat{q}\,X+MT\end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots (3.29)$$

すなわち，(1.2) によつて $\hat{q}$ とともに求められるのは，M でなくて実は MT である．したがつて自然減耗が1年のうちの一部分 T だけにおこる場合は，1年を単位とした自然死亡係数 M の値は $T(<1)$ 倍の過少推定となる．

この場合の漁獲量は，漁期中は $M=0$ であるから

$$C=N_0(1-e^{-\hat{q}X}) \cdots\cdots (3.30)$$

したがつて漁獲率は

$$E=(1-e^{-\hat{q}X}) \cdots\cdots (3.31)$$

である．

これと自然減耗が周年存在する場合との比は

$$\beta=\frac{\hat{q}X+MT}{\hat{q}X}\left(\frac{1-e^{-\hat{q}X}}{1-e^{-(\hat{q}X+MT)}}\right) \cdots\cdots (3.32)$$

倍となる．

California sardine で自然減耗が存在するのは漁期以外の9カ月であるとすれば $T=1-\frac{1}{4}=\frac{3}{4}=0.75$，よつて，この場合 M（年を単位としての）値は

$$0.31/0.75=0.41$$

また漁獲率は

$$1-e^{-0.67\times 0.76}=0.41 \quad \beta=\frac{0.41}{0.46}=0.89$$

すなわち周年自然減耗が存在する場合にくらべ，漁獲率は0.89倍である．

この補正も，(i) と同じく，この場合の実際の漁業を論ずる場合には，特に重要というものではない．

§3.4.1. 第一種時間的利用度と第二種時間的利用度

漁期が周年にわたらず，または，漁期内の一部だけにある魚が漁業対象となるような場合に，時間的利用度という概念を用いてこれらの問題を取り扱うことができる．§3.3. でのべた日本海大羽イワシのように，漁期中に魚群の交代があり，ある特定の魚だけに注目すると，漁期中の一部だけで（この例では τ/T）漁業の対象となつているとき，この魚の第一種時間的利用度は τ/T であるといい，また §3.3. でのべた California sardine のように漁期自身が1年のうちの一部分であるとき（T年）第二種時間的利用度は T（<1）であるということができる．第一種時間的利用度の変化は，漁獲率にも，努力あたり漁獲量にも影響をあたえるが，第二種時間的利用度の変化は，それほど大きな影響を与えないことが普通であろう．

§3.5. 魚群の通過があるときの努力あたり漁獲量と資源量指数（第一種時間的利用度の変化の一形式）

あるひとつの漁場が出現してから，魚の移動によつて別な場所に移るような場合には，漁期を通じての努力あたり漁獲量は，さらに複雑なパターンをもつ，漁場の移動は，かならずしも魚群自身の移動を意味するものではないこともあるが，標識放流などによつてこれが確められる例もある．例えば1930年代に実施された California sardine の標識放流で，冬季にカリホルニヤ州中部にできた漁場と，夏季にカナダ沖に現われる漁場は，同一の魚群を含んでいることが知られている．（Clarke and Marr, 1954 既述）

いくつかの場合について考えると，

(i) 一定速度で移動がひきつづいておこなわれ，漁場が連続している場合

回遊範囲が，沿岸からほぼ等距離にあり，漁期の起点 $t=0$ での魚の密度分布を $c=c(x)$，（x はある原点からの距離），この帯状漁場の長さを l，幅を d であるとする．$t=0$ のときの資源量は

$$N_0=d\int_l^0 c(x)dx \cdots\cdots (3.33)$$

である．今，減耗が存在せず，魚群がその分布の形を崩さないで，v なる速度で進行するとすれば，t, x という時点，および地点での分布密度は

$$c(x,\ t)=c(x-vt) \cdots\cdots (3.34)$$

である．すなわち，$x+\Delta x$ という地点では，$v\Delta t$ だけの位相のずれをもつて，x におけると同様な時間的変化を示すはずである．

このとき，各地点で観測された毎時の努力あたり漁獲量を，時間と場所ごとに全部あつめて平均したものは

$$\overline{c}=\int_T\int_l \frac{c(x,t)dx,\,dt}{Tl} \cdots\cdots (3.35)$$

但し，t, x は正の範囲（T, l まで）

また，資源量 N は

$$N=\int_0^l c(x)dx$$

故に

$$\int_T\int_0^l c(x)dxdt=\int_0^T\left[\int_{-vt}^{l-vt}c(x)dx\right]dt \cdots\cdots (3.36)$$

しかし $c(x)$ は x の負の変域においては 0 であるから上式は

$$\left.\begin{aligned}&\int_T\int_0^l c(xt)dx\cdot dt\int_0^T\left[\int_0^{l-vt}c(x)dx\right]dt\\&=\int_0^T\left[N-\int_{l-vt}^l c(x)dx\right]dt=TN-\int_0^T\int_{l-vt}^l c(x)dx\cdot dt\\&=TN-\alpha\\&\alpha=\int_0^T\int_{l-vt}^l c(x)dx\cdot dt\end{aligned}\right\} \cdots\cdots (3.37)$$

進行末尾にある魚群は，漁場内にある時間が長いから，時間ごとに漁獲努力あたり漁獲量を計算して加え合せるとき，同一魚群が何度も計算に入ることになる．

平均密度は，漁場面積を $ld=S$ とおけば

$$\frac{TN-\alpha}{TS}=\frac{N}{S}-\frac{\alpha}{TS} \cdots\cdots (3.38)$$

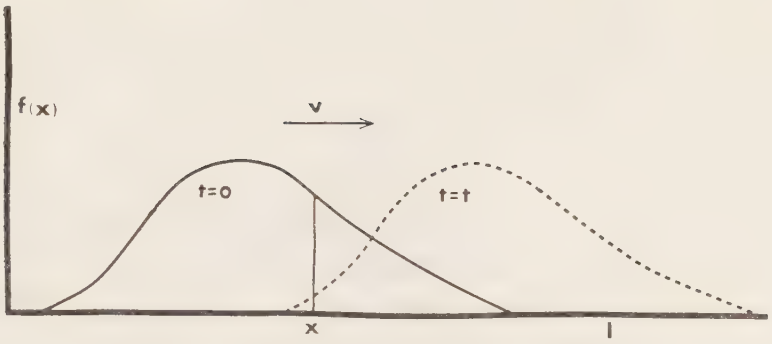
となり，実際に漁場にあつた魚の平均密度より $\frac{\alpha}{TS}$ だけ小さくなる．

地点 x で観測される魚群の総量は，第21図で示されるように，x よりも進行方向の後方にある魚の量である．すなわち，これは

$$d\int_0^T c(xt)dt=d\int_0^x c(x)dx \cdots\cdots (3.39)$$

として表わすことができる．

原点から $x(<l)$ なる地点，すなわち $t=0$ に漁場である地域内の一点について考えると，この点を魚群の最後の部分が通過するまでに要する時刻は $\frac{x}{v}$ であり，また漁場の終り，すなわち $x=l$ という地点を漁群の最後が通過するまでに要する時間は $\frac{l}{v}$ であり，これが全漁期の長さになる．したがつて，原点から x だけの距離の点で，単位時間に通過する魚の量の平均値は



第 21 図　魚群の移動があるときの密度分布の変動パターン

$$d\int_0^x c(x)dx \Big/ \frac{x}{v} = \frac{dv}{x}\int_0^x c(x)dx \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.40)$$

はじめ漁場であつた地域全域での密度は，観測される魚群密度を，時間および空間について加え集めて平均したもの，すなわち，

$$S = \frac{\int_0^l \left[\int_0^x c(x)dx\right]dx}{\int_0^l \frac{x}{v}\,dx}$$

$$= \frac{2v}{l^2}\int_0^l \left[\int_0^x c(x)dx\right]dx \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3.41)$$

また，実際の魚群密度は

$$\frac{1}{l}\int_0^l c(x)dx$$

であるから，今の場合，漁場全域で全期間にみられる魚群から求められた漁場内の魚群密度は，実際の密度に比し

$$\gamma = 2v_0 \int_0^l \left[\int_0^x c(x)dx\right]dx \Big/ l\int_0^l c(x)dx \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (3.42)$$

倍となつてあらわれる．

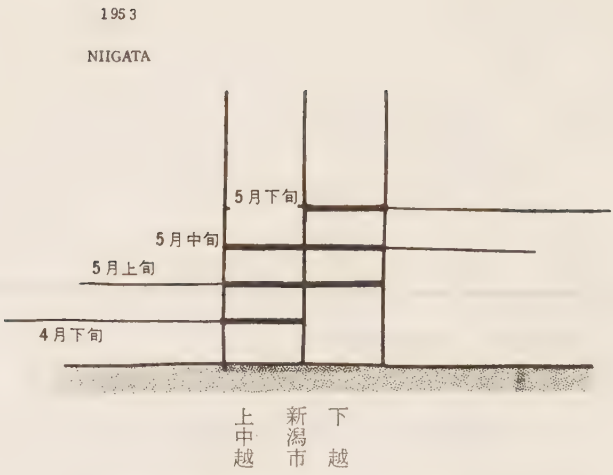
（例）上述のような実例は，このままの形で取扱うのは困難であるので，SATOW (1955) が，通過漁場の例として論じた新潟県沖大羽イワシ流網漁業を取扱つてみることにする．

これは，漁期の最初では，実際の魚の分布のうち，魚群の進行方向の始めの部分だけが，漁場にある場合である．

1953年春の漁期において，新潟県沖では，4月下旬には，漁場の後（進行方向に対し）すなわち南部である上中越（富山県より）から漁獲がはじまり，6月上旬には北部（山形県より）のみで漁業が行われている．これを模式化すると第22図のようになる．すなわち，1旬ごとに魚群の長さの1/4づつが等速度で移動しているとみることができる．この場合，4旬にわたる漁期中，魚群のあらゆる部分が2旬づつ漁獲の対象になつている．

一方，1954年では，漁期は6旬におよんでいて，4月下旬には南部漁場で漁獲がはじまり，6月上旬の終漁のときも，まだ南部に若干魚群が残つている．魚群の進行速度が前年と等しいとすれば，魚群の長さは前年の 6/4 すなわち1.5倍である．

この場合，終漁期に末尾にあつた部分だけは1旬，他は2旬だけ漁獲の対象となつている．



第 22 図　新潟県沖マイワシ流網漁場における魚群の通過模式（1953年）

漁場における資源の密度はいずれも一様であり，かつ全漁期で等しいとすれば，資源量の比は，魚群の長さの比すなわち 1:1.5である．この場合，努力あたり漁獲量の値は，今の仮定により両漁期とも，全漁場全漁期で等しいが* この値を，各漁期の年間単位，および漁場の面積単位について加え合せたものの比は8/11になり，真の資源量の比に対しては，努力あたり資源量自体も，これを単に時間と空間について加え合せたものも，どちらもかたよつている．

これは，前にのべた，第一種時間的利用度の変化の一形式である．

(ii)　魚の移動が部分的に，漸次おこなわれる場合

(i) の例では，魚群が漁場を連続的に通過するものであるとして扱つたが，日本海の春季のイワシ流網漁場の動きをみると，ある場所に漁場が形成された後，漁場自身の位置はあまり変えないで，その傍に別な漁場が生じ，前の漁場の密度が次第に減じて新しい漁場に移つて行くようにみえることが多い．これは三陸沖サンマ漁場でよくみられることである．（木村，1960）

このような漁場の発生，移動の機構等について論ずるのは，この報文の目的ではないが，漁場の地形的原因あるいは潮境のため，流れに渦糸（vortex sheet）が発生し，これに魚が停留し漁場を作り，流れによつて次々と運ばれる等の理由（内橋，1960）が考えられる．

始め N_0 だけの魚が，A という漁場に存在し，これが dt という時間に dN ずつ B の漁場に移動するものとすれば，移行速度は

$$-\frac{dN}{dt}=f(t) \quad \cdots\cdots (3.43)$$

となる．

時間 t における A，B 両区の魚群量は，それぞれ

$$\left.\begin{aligned} N_A(t)&=N_0-\int_0^t f(t)dt \\ N_B(t)&=\int_0^t f(t)dt \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (3.44)$$

---

* これはここでのべているような模式を取扱うための思考実験であり，実際の1953年と51年の新潟県沖での大羽イワシの努力あたり漁獲量の値が等しいというわけではない．

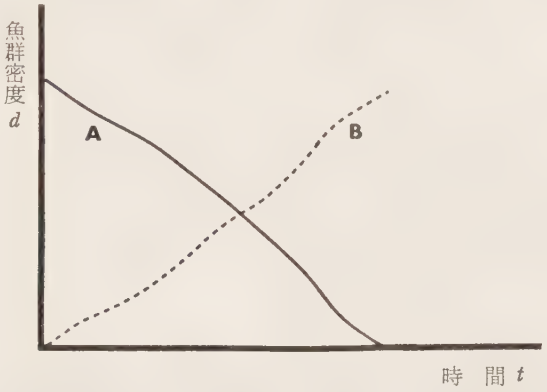
（減耗がないものとして）

また，それぞれの地域での密度を σ_A，σ_B とすれば，

$$\left.\begin{aligned}\sigma_A&=\frac{N_0}{A}-\frac{1}{A}\int_0^t f(t)dt\\ \sigma_B&=\frac{1}{B}\int_0^t f(t)dt\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(3.45)$$

$$A\sigma_A+B\sigma_B=N_0(=\text{const.})\cdots\cdots(3.46)$$

この関係は第23図に示すとおりである．



第 23 図　ある漁場から他の漁場に魚が漸次うつるときの魚群密度の時間的変動パターン

努力あたり漁獲量を用いれば

$$\left.\begin{aligned}c_A&=\frac{C_A}{X_A}=\hat{q}_A N_A=\hat{q}_A\sigma_A A\\ c_B&=\frac{C_B}{X_B}=\hat{q}_B N_B=\hat{q}_B\sigma_B B\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(3.47)$$

$\hat{q}_A$，$\hat{q}_B$ は，それぞれ，漁場面積 A，B に関係するが，単位面積についての catchability を q_0 とすれば，

$$\hat{q}_A=\frac{q_0}{A}\qquad\hat{q}_B=\frac{q_0}{B}\quad\cdots\cdots(3.48)$$

よつて

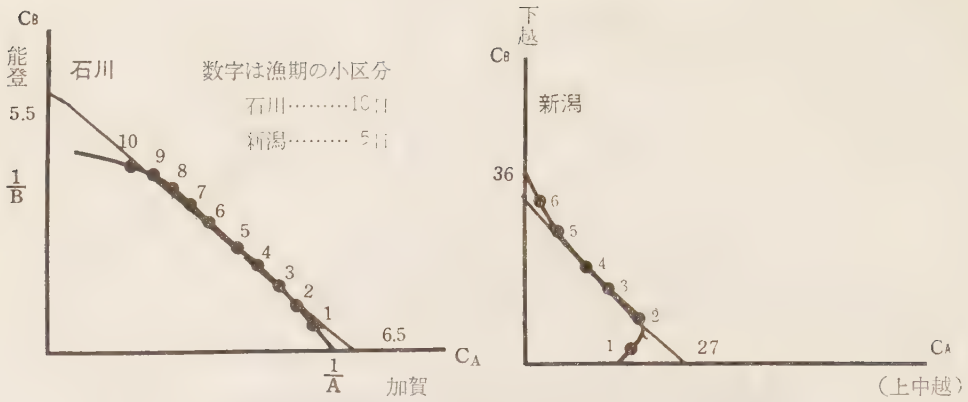
$$c_A=q_0\sigma_A\qquad c_B=q_0\sigma_B$$

$$Ac_a+Bc_b=Nq_0\cdots\cdots(3.49)$$

したがつて，もし漁期中に減耗がないとすれば，c_A と c_B とをそれぞれ座標とする点は，上の（3.49）で示される直接上にのる．しかし，この間に減少があれば，この直線は上方に凸，増加があるときは下方に凹形の曲線となる．（第24図）

（例）　日本海北部イワシ流網漁業

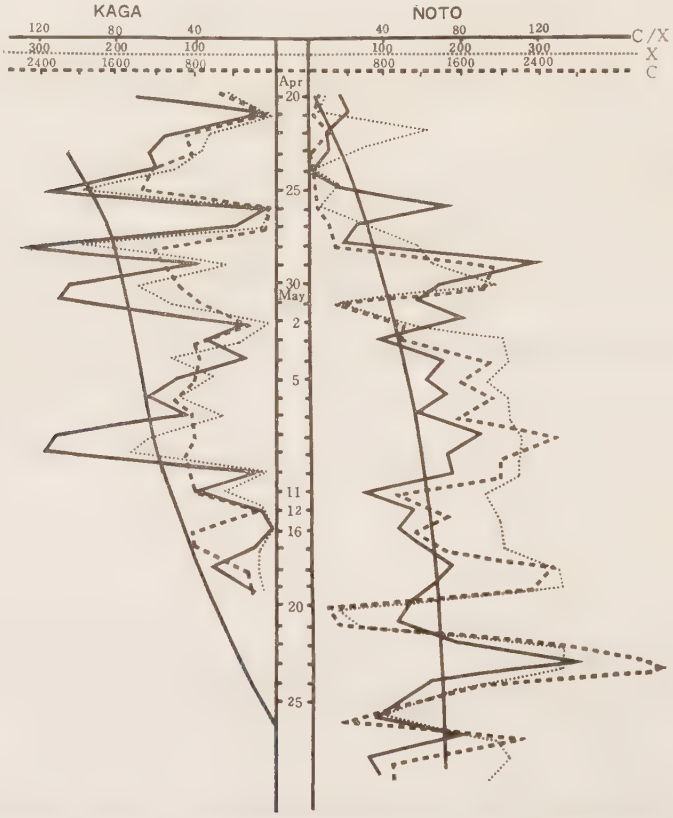
1957年および58年の両漁期に，石川，新潟両県沖合で毎日の漁船の出漁位置と，出漁船1隻あたり平均漁獲量の資料がある．これをまとめ，石川県では加賀と能登，新潟県では上中越（佐渡海峡を含む）下越とに



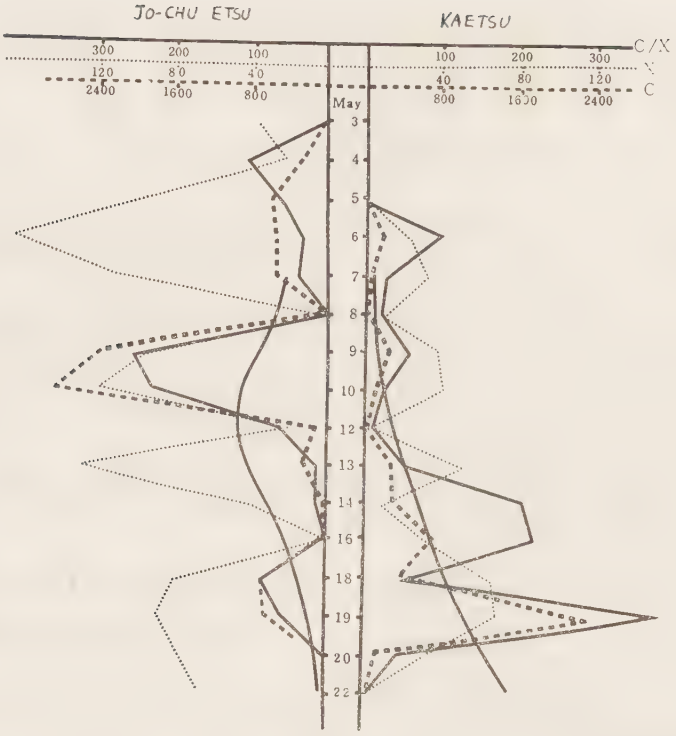
第 24 図　石川，新潟両県のそれぞれ2漁場での努力あたり漁獲の時間的変化

それぞれ分けて集計し，努力あたり平均漁獲量をもとめた．この場合，毎日におこる短期間の小変動を除いて平滑にするため，石川県では10日ごと，新潟県では5日ごとの移動平均値をとつた．

新潟県で，漁期の最初の部分のみは例外であるが，他では c の値はどちらも漁期の始めの漁場（この場合の漁場は東進するのであるから西側）になる加賀，上中越地方では減少傾向，またこの逆に，進行方向に当る能登，および下越地方ではこれは増加の気味となる．そして，（座標 c_A, c_B）で示される点は，いずれも



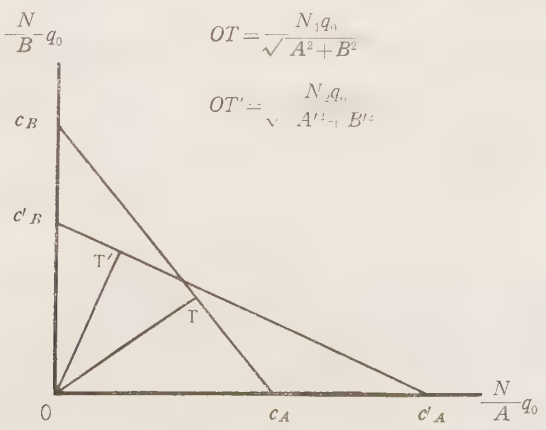
第 25 図　1957年（イワシ流網漁業）石川県沖での C/X, X, C の時間的変化



第 26 図　1957年（イワシ流網漁場）新潟県沖での C/X, X, C の時間的変化

ほぼ直線上にのる．また石川県の例では若干の減耗が見られ，新潟県の場合はこの関係が明瞭でない（第25，26図）

いま，第27図に示すように，座標（c_A, c_B）が直線上にのるものであるとすれば，原点からの距離は N に比例し$\sqrt{A^2+B^2}$ に反比例する．したがつて，同一魚場で，数年間の漁期について，漁期中の両漁場での（c_A, c_B）の値をむすぶ直線を夫々作り，また，それぞれの漁期での両漁場の面積を求めておけば，それぞれの漁期間の資源量の比は，次のようにして求めることができる．



第 27 図　2漁場の密度変化からの漁場面積比推定法

いま，2カ年のみの資料について考えるとし，両年での両漁場の面積を A_1，B_1 および A_2，B_2 とする．この A_1，B_2 は，漁場面積の絶対値でなく，これに比例する量でもよい．上述のようにして得られた直線と，原点との距離を D_1 および D_2 とすれば，両年の資源量の比 N_2/N_1 は

$$\frac{N_2}{N_1}=\frac{D_2}{D_1}\cdot\frac{\sqrt{A_1^2+B_1^2}}{\sqrt{A_2^2+B_2^2}} \quad \cdots\cdots(3.50)$$

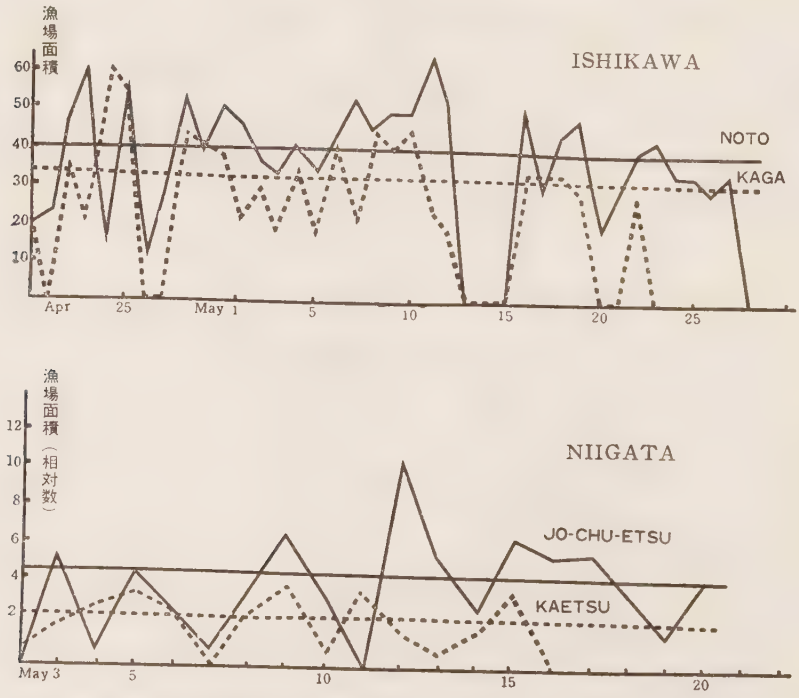
によつてあたえられる．またこの直線が座標軸と交ることによつて得られる切片の長さの比は，漁場面積の逆数比 $\frac{1}{A_2}\Big/\frac{1}{A_1}$ となる．今の例では，石川県では，加賀と能登での漁場面積比は，第25図で示されるように $\frac{B}{A}=\frac{6.5}{5.5}=1.26$，また新潟県の上中越と下越では $\frac{B}{A}=\frac{27}{36}=0.75$ である．

実際の漁況報告で，地図上に記入された漁場面積を比較してみると（第28図），石川県では漁場の分布は帯状，新潟県沖では斑状であるので，前者ではその帯状分布の長さを，また，後者ではその単位面積を等しいとして，その箇数がそれぞれ面積を示すものとした．これによると，石川県で $B/A=1.1$，新潟県で $B/A=0.59$ で，前にのべた値との相違は10～20%である．

いま，このような漁場の移動を考えないで全漁期を通じての努力あたり漁獲量を，単純平均で求めたとする．このときの平均努力あたり漁獲量を $\overline{c}$ とすれば，

$$\overline{c}=\frac{C_A+C_B}{X_A+X_B}=q_0\Big(\frac{N_A}{A}X_A+\frac{N_B}{B}X_B\Big)\Big/\Big(X_A+X_B\Big) \quad \cdots\cdots(3.51)$$

ここで C_A，X_A 等々はそれぞれの漁場での漁獲量，および努力量，また，$\hat{N}_A$，$\hat{N}_B$ は，それぞれの漁場で，魚の量の漁期中の平均値である．漁期の途中での減耗がないのであれば



第 28 図　1957年石川，新潟両県でのイワシ流網出漁漁場面積の比較

$$\hat{N}_A=\hat{N}_B=\frac{N}{2}$$

したがつて上式は

$$c=\frac{N}{2}q_0\left(\frac{X_A}{A}+\frac{X_B}{B}\right)\Big/(X_A+X_B)$$

$$=\frac{N}{2}q\left(\frac{X_A}{A}+\frac{X_B}{B}\right)\Big/X \quad\cdots\cdots (3.52)$$

となる．今，両漁場での努力量が等しい，すなわち$X_A=X_B=\frac{X}{2}$とすれば

$$c=\frac{N}{4}q_0\left(\frac{1}{A}+\frac{1}{B}\right) \quad\cdots\cdots (3.53)$$

である．

両漁場での面積の調和平均を H とすれば，

$$\frac{c}{q_0}=\frac{N}{2H}=\hat{\sigma} \quad\cdots\cdots (3.54)$$

とおくことができる．漁場内の魚の平均密度は

$$\sigma=\frac{N}{A+B}$$

であるから，したがつて

$$\frac{\hat{\sigma}}{\sigma}=\frac{A+B}{2H} \quad\cdots\cdots (3.55)$$

2つの正数の相加平均は調和平均より大であるから

$$\frac{\hat{\sigma}}{\sigma}>1 \quad\cdots\cdots (3.56)$$

すなわち，両漁場で，全漁期を通じて，無荷重的に求めた努力あたり漁獲量は，漁場の魚群密度を過大推定する傾向がある．

§3.6. 魚群が移動する場合の減少率

上述の考えでは，漁期中に自然減耗，および漁獲が働く場合には，ある地点，ある時点で観測される努力あたり漁獲量の変化は，非常に複雑なパターンをもち，これのみから減少係数を求めることは困難である．

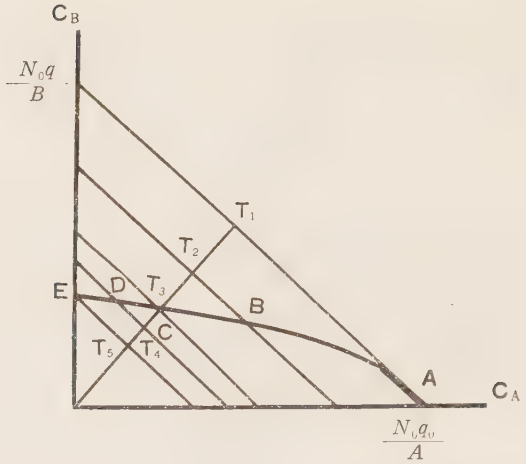
しかしこの場合，一定の減少係数 Z が存在しているのであれば，両漁場での努力量あたり漁獲量 c_A，c_B を面積で加重して加えたものについては，

$$Ac_A+Bc_B=q_0Ne^{-Zt} \quad\cdots\cdots (3.57)$$

という関係がなり立つから，資源量指数としては，この左辺を努力あたり漁獲量のかわりに取扱えばよい．

座標（c_A，c_B）という点が，時間の経過とともに，移動してできる曲線は，第29図のようにして説明される．

A，B の2漁場での努力あたり漁獲量が，時間 $t=0$ のときから，t づつの間隔をもち，順次に（c_{A_1}，c_{B_1}）から（c_{A_2}，c_{B_2}）（c_{A_3}，c_{B_3}）……と変化して行くものとする．各々の時点での資源量は，漁場面積比 A，B の逆数をそれぞれ c_A 軸，c_B 軸と交つて作る切片の長さの比とする平行線と原点との距離，OT_1，



第 29 図　減少があるときの2漁場での努力あたり漁獲量の変化の説明

OT_2……などに比例する．すなわち

$$OT_1=\frac{N_0}{\sqrt{A^2+B^2}} \qquad OT_2=\frac{N_0e^{-Zt}}{\sqrt{A^2+B^2}} \qquad OT_3=\frac{N_0e^{-2Zt}}{\sqrt{A^2+B^2}}$$

いま A, B, C…などを通る平行線を引いて，上記の各座標軸と交つて得る切片の長さが，幾何級数になるようにすることができれば，この公比がすなわち e^{-Zt} となり，これから Z を求めることができる．しかしながら，このような平行線を発見することは，必ずしも容易でないことではないであろう．

§3.7.　生物学的利用度の変化に対する漁獲努力の影響

従来のべてきた取扱いでは，漁獲努力量は，もつぱら，漁獲係数 F に比例するものとして考えてきた．

ここで，本報告をしばしば引用される California sardine の例を再びふりかえつてみることにする．1945年以前と46年以後との資源特性量を比較してみると

	$\overline{X}$(船月)	r	$\hat{q}$	M
1945年 以 前	736	0.55	0.31×10^{-4}	0.25
46年 以 後	921	0.25	0.10	0.65

であり，努力量の増大と利用度 r および catchability（漁具能率）の減少がともなつている．既述のように，海況の変化によつて漁場位置が移動したことによる利用度の変化はみとめられているが，$\hat{q}$ の値の減少についてはどうであろうか，漁具の性能は改良されていると考えるのが普通であろうが，このように $\hat{q}$ すなわち，漁場内の魚が操業によつてとられる割合が減じているのはいかに解釈したらよいか，漁場の面積は1946年以来，米領カリホルニヤ中部以北の漁場は姿を消しているために縮少していることを考えると，これは漁具の性能が，実質的に減じていると考えざるを得ない．

この説明の一方法として，ひとつの仮説を考える．すなわち，漁獲努力は，単に漁獲による間引という形で死亡率を増大させるのみでなく，先の章でのべた生物学的利用度に影響することがある．あるいは，漁獲努力はその漁場の環境を変化させて，漁具に対する魚の反応を鈍化させたりすることもあり得よう．カツオ漁業でみられる“餌付不良”，サンマ棒受網漁業における“火附不良”などとよばれる現象の中には，この原因が，漁獲努力自身に起因すると思われる要因はないであろうか．内橋（1956）は，山陰地方のマサバ漁業について当業者からの聴取調査により，集魚灯を同一漁場で何度もくりかえすことにより，はじめ灯に集つた魚群が，次第に灯から逃避するようになり，終漁期では，初漁期からみると甚だしく情況が変化し，漁獲

しにくい状態になることを知り，このような現象を，“生態学的漁場荒廃”と名附けている．

このような例は，漁業者が俗に“魚が賢くなつた”とよんでいる現象であるが，他にもこのような例は見ることができるであろう．

このような，生物学的利用度の変化が，努力量の変化と無関係におこるのであれば，§2.5.でのべたように，これは第二種利用度の変動と同様に扱うことができる．努力量がこのような生物学的利用度にどのように作用するかを知ることは容易ではないが，3つの場合について仮定してみる．

(i)　努力量にそのまま比例する量をもつ利用度の減少がある場合

たとえば，各漁船は一定力の火光をもち，魚群の光に対する反応がこれに比例するようなときである．

このとき

$$\left.\begin{aligned} -\frac{1}{N}\frac{dN}{dt} &= \hat{q}X+M+\alpha X \\ Z &= \hat{q}X+M+\alpha X \end{aligned}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots (3.58)$$

αX は，たとえば魚群の駆逐等によつて利用しうる魚が減少する率である．

この場合，一旦減じた魚群が，その後，再びこの後の漁期に漁場にはあらわれないものとして取扱われている．

この時，前にのべた方法 (1.2) で $\hat{q}$ と M とを求めると，$\hat{q}$ として得られた値は実は $\hat{q}+\alpha$ である．すなわち，漁獲死亡率は過大に求められる．しかしながら，$\hat{q}$ と α とは，この方法では分離することはできない．

(ii)　漁場からの逸散，駆逐等，利用しうる魚の量を減少させる作用が努力量の累積によつておこる場合には

$$Z=\hat{q}X+M+\alpha\sum X \cdots\cdots\cdots\cdots (3.59)$$

となる．この場合 $\sum X$ は漁獲努力量の累積値である．

X，$\sum X$ 及び Z の3つは既知数であり，$\hat{q}$，M，α の3つの未知数を解くことができる．

これらの場合，もとの観測値が誤差を含んでいて X，$\sum X$ を Z との相関の程度が低い場合には，(3.59) を解くことによつて得られた $\hat{q}$ もしくは M の推定値は，単に，この生物学的利用度の減少を含み，見かけ上の漁獲死亡率，又は自然死亡率が実際よりも高まつて見えることがある．

以上のべたようなことが容易に見出されるのは，長期の資料（すなわち，漁獲物の年級組成が漁期ごとにかわる場合）よりは，むしろ，同一年級の魚群を対象としておこなわれる比較的に局地的な漁業を，1漁期内で取扱つた場合であろう．

この場合，第1章でのべた De Lury の方法で求めたように，累積努力量と $\log C/X$ との関係を求めると，これは直線ではなく，第30図のように曲線となる．

自然死亡と漁獲のみが作用している場合には

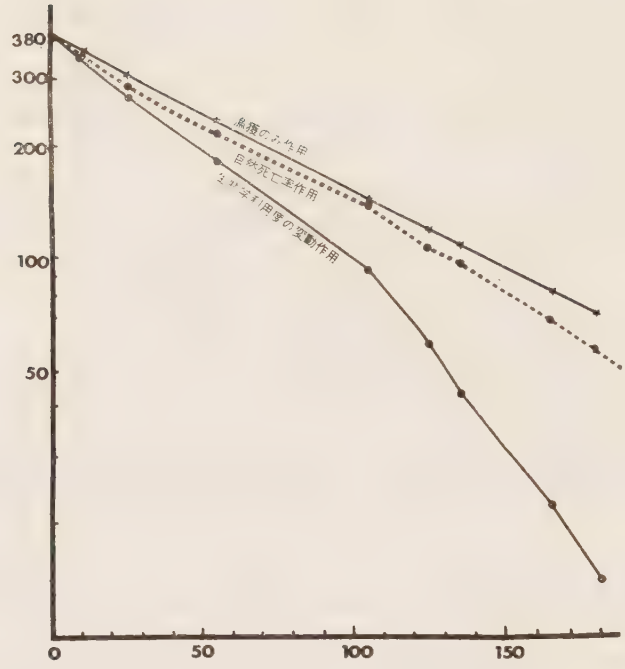
$$-\log(C/X)_{n+1}=S-a\sum_{i=1}^{n}X_i-Mn \cdots\cdots\cdots\cdots (3.60)$$

n は月，旬というような漁期の区分，$\sum_{i=1}^{n}X$ は第 n 期間までの累積努力量

努力の累積値に比例する魚群の駆逐があるとすれば，

$$-\log(C/X)_{n+1}=S-a\sum_{i=1}^{n}X-b\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{i}X_j \cdots\cdots\cdots\cdots (3.61)$$

となる．ここで



第 30 図　生物学的利用度の変化があるときの累積漁獲努力量と努力あたり漁獲量

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{i}X_j=X_1+(X_1+X_2)+(X_1+X_2+X_3)+$$
$$\cdots\cdots\cdots\cdots+(X_1+X_2+X_3+\cdots\cdots X_n)$$
$$={}_nX_1+(n-1)X_2+\cdots\cdots+X_n$$
$$=\sum_{i=1}^{n}(n-i+1)X_i \cdots\cdots (3.62)$$

すなわち

$$-\log c_{n+1}=S-a\sum_{i=1}^{n}X-b\sum_{i}^{n}(n-i+1)X_i-Mn\cdots\cdots (3.63)$$

となる.

(iii)　さらに (ii) において，魚群がある期間のみの努力量の累積値を“記憶”する場合

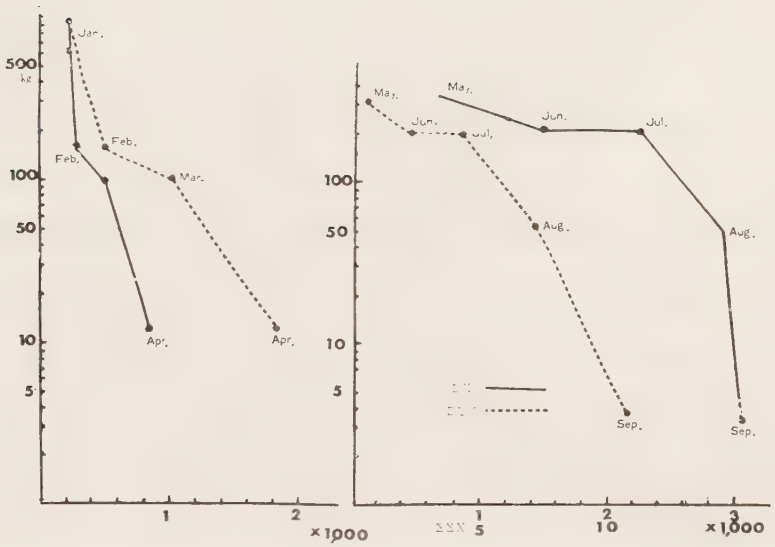
このときは前論の$\sum_{i=1}^{n}X_i$ のかわりに$\sum_{i=n-K}^{n}X_i$ を入れる．すなわち，魚に与える生物学的刺激に対する反応の継続時間（K 期間）の努力量の和を入れることによつて同様に取扱うことができる．

漁獲努力は，このように，直接に魚の行動に作用するものの他，回遊路阻害というような形で働くことも考えられるが，このような場合の数学的模型を考えることは困難である．

（例）上記，内橋がのべた山陰サバ巾着網漁業

1958年，春季以後，境沖漁場に出漁した巾着網漁船の航海数 X，漁獲量 C，および航海当り漁獲量 $c=C/X$ の値を図示する．（第31図）

漁獲努力の累積値が増大するにつれて，この値は急激に減少し，たしかに，漁期の終りには“獲りにく



第 31 図山陰巾着網漁業によるサバの漁獲量及び航海数および航海あたり漁獲量の変化

く" なつていることがうかがわれるが，$\sum\sum X$ との関係が，果して直線的であるかは不明であり，努力量の累積値がそのまま今のべたように作用しているかどうか不明である．a, b, M の3つの未知数に対し，これを解くには資料数は不足であり，また，このように，努力による生物学的利用度の変動があつたとしても，その機構がいかなる数式で表わされるかは，これだけの資料からいうことはできず，さらに生物学的研究が必要とされる．

第4章　利用度の変動と漁業診断および漁況の予察

§4.0.　利用度解析の応用

前章までにのべてきたように，利用度の変動は，資源量の目安として普通に用いられる努力あたり漁獲量や，これから導かれる漁獲率，生残率等の資源特性値の推定に大きな影響をあたえる．これらの事実は，漁業や，その研究に従事する人々の間では，経験的事実として感じとられていることであつた．そして，前章までに取上げた，利用度の変動があるときの資源変動の数学的模型の例も，いずれもむしろ仮説的なものであり，利用度の量的取扱いを目標としての調査資料が十分にととのつていない現在，今までのべたひとつひとつの場合について，十分な実例をもつて実証することができず，むしろ，間接的な方法により，断片的にその様式を推察しうるにすぎなかつた．

しかしながら，前章までにのべてきたように，California sardine や日本海のイワシ流網漁業によるマイワシのように，断片的とはいえ，かなり色々の方向から，利用度の変動様式についての考察をおこなうことのできた漁業もある．これらについて，いままでに得られた利用度についての知識を応用して，資源の動向の診断，あるいは漁況の予察の応用を試みた例を示すことにする．

§4.1.　利用度の変動と漁獲重量

(1)　第一種利用度

加入量が一定であるとき，第一種利用度，および漁獲係数 F が一定であるとすれば，ひとつの年級量から得られる総漁獲量は，(2.19) より

$$Y=N_0\frac{F}{Z_0}(1-e^{-Z_0})(1+e^{-Z}w_1+e^{-2Z}w_2+\cdots\cdots)$$

ただし

$$\left.\begin{aligned} Z_0&=M+\frac{F}{r}\\ Z&=M-\log\left[re^{-\frac{F}{r}}+(1-r)\right]\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4.1)$$

となる．ただし N_0 は最小漁獲年令に達したときの資源尾数であり，w_1，w_2…… は最小漁獲年令の平均重量を1としたとき，これより1才，2才……だけ大きい魚の平均体重である．

r が増大するにしたがつて，Z_0 は減少するが，Z は第15図に示したように増大する．したがつて，§2.5 で示したように，漁獲率は増大し，$N_0\frac{F}{Z_0}(1-e^{-Z_0})$ の値も増大するが，$(1+e^{-Z}w_1+e^{-2Z}w_2\cdots\cdots\cdots\cdots)$ の項は減少する．したがつて r，F，w_1，w_2……等の値の大小により Y の極大値が定まる．

しかしながら，すでにいくつかの実例で示されたように，漁場の面積が増大するときには，この中には密度の高い好漁場が含まれ，漁場がせばまるときは，逆に密度の高い部分が漁場の外に出る第三種A型の利用度変化，あるいはこの逆の第三種B型の利用度変化をするのが普通であろう．

このとき，漁獲重量 Y は

$$Y=NF\frac{r}{r'}\cdot\frac{1}{Z_0}\cdot\left(1+e^{-Z}w_1+e^{-2Z}w_2\cdots\cdots\right)\left(1-e^{-Z_0}\right)$$

$$\left.\begin{aligned} Z_0&=M+\frac{q}{r'}X\\ Z&=M-\log\left[re^{-\frac{F}{r'}}(1-r)\right]\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4.2)$$

ここで r' は面積利用度 r は（真の）利用度である．

A型，すなわち漁場の周辺部の密度が高いときには，r が増加するとき r' も増加し，Z の値は増大するまた $N_0\frac{1-e^{-Z_0}}{Z_0}F$ も(1)にのべた様に増大する．$\frac{r}{r'}$ の値は第17図で示したように，A型の場合は1より大であり，この値は r' がますにしたがつて急激に激して1に近づく．すなわち r' が増大するときの Y の変化は，第一種の利用度の変化の場合と似ているが，r' の増大によつて Y が増大するときも，その変化は第一種利用度の変化の場合よりもゆるやかであろう．

(2) 第二種利用度の変化があるとき

（第四種利用度の変化についても同様）

この場合には

$$Y=N_0\frac{Fr}{Z_0}(1-e^{-Z_0})\left(1+e^{-Z}w_1+e^{-2Z}w_2+\cdots\cdots\right)$$

$$\left.\begin{aligned} Z_0&=M+F\\ Z&=M-\log\left[re^{-F}+(1-r)\right]\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\quad(4.3)$$

この場合 $E=\frac{Fr}{Z_0}(1-e^{-Z_0})$ の値は r に比例して増大し（第16図）また Z の値も急激に上昇するため $(1+e^{-Z}w_1+e^{-2Z}w_2\cdots\cdots)$ の値は減ずる．したがつて M の値が小さく w_1，w_2……や F が大であるときは，同一の F の値に対し，Y を最大ならしめる r が存在することがある．すなわち，この場合の利用度の増大は，漁獲率強化と同様であるので，成長が速かで，自然死亡率が少く，漁獲係数が大なときは，

成長を有効に利用することができず，かえつて漁獲重量を減ずることもありうる．

§4.1.1. 実例

(1) メキシコにおける California sardine の漁業開拓の可能性について

前述のように，California saridne には，第三種利用度の変化（局地的にA型の部分とB型の部分がある）がみられる．

現在，メキシコ領バハ・カリホルニヤ地方では，あまり漁業はおこなわれていないが，国策として漁業を振興させようとする動きがある．これは漁場面積の増大と，努力量の増加をもたらすことになるであろう．

1946年にこの魚の減産がおこつた後，1954年までにいたる利用度の平均値は平均0.25，努力量の平均は937 boat-month であり，自然死亡係数 M は0.69であつた．これと同性能の漁船が，現在の漁場である米領内カリホルニヤ州南部沖より，さらに魚群密度が高いとみられているメキシコ領海合にまで漁場をひろげ，努力量を増加すると，魚の実際に分布する面積に対する漁場として利用される面積の比，すなわち，面積利用度の増大以上に，実際の利用度も増大することになる．また，米合衆国とことなり，国内では漁期として定められている期間がなく，漁業は周年おこなわれている．したがつて，漁場の面積が拡大すれば（すなわち面積利用度 r が増大すれば），漁獲努力量はさらに増大することが可能となるであろう．

(2.17)により，この場合の全減少係数は

$$Z=M-\log\left[re^{\frac{-\hat{q}X}{r'}}+(1-r)\right]$$

であるが，いまのべたように，r' の増大が X の増大をも伴うことを考えにいれ，かりに X と r' とが比例するものとすれば $\hat{q}\frac{X}{r'}$ は一定となり，上式では r のみが変量となる．

1946年以後の資料による M, r, X, $\hat{q}$ 等は（YAMANAKA, 1960）

$r=0.25$（平均）　$X=937$　$\hat{q}/r'=1.000\times10^{-3}$

$M=0.65$　$\frac{qX}{r'}=0.937$

である．

これを入れて r と Z 及び E との関係を求めると

$$E=\frac{\hat{q}X}{r'}\left(\frac{1-e^{-Z_0}}{Z_0}\right)\qquad Z_0=M+\frac{\hat{q}X}{r}\cdots\cdots\cdots\cdots(4.4)$$

この値は第25表に示す．

第 25 表　California sardine の r と Z, E との関係

r	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
Z	0.72	0.78	0.86	0.92	1.02	1.10	1.20	1.32	1.44	1.58
E	0.047	0.094	0.141	0.187	0.234	0.281	0.323	0.375	0.422	0.469

漁業の現状では，最小漁獲年令は0才である．

また，各年令の平均体長は CLARKE & MARR (1955) により与えられている．体重は明らかにされていないので，体長比の3乗比をもつて体重比とする．これらの値は第26表のとおりである．

第 26 表　California sardine の各才の平均体長（CLARKE & MARR）および体重比

才	0	1	2	3	4	5	6	7
平均体長(mm)	141	196	200	204	215	215	216	217
体　重　比	1	2.69	2.82	3.02	3.53	3.54	3.59	3.65

これによつて $P=1+e^{-Z}w_1+e^{-2Z}w_2+e^{-3Z}w_3+\cdots\cdots+e^{-7Z}w_7$ の値およびこれを (4.2) に入れて求めた漁獲重量 Y の値を第27表に示す.

第 27 表　California sardine 利用度の変化と周一年級による資源重量 P および漁獲重量 Y

r	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
P	3.69	3.41	3.06	2.83	2.60	2.38	2.17	2.00	1.84	1.70
Y	0.17	0.32	0.43	0.54	0.73	0.73	0.74	0.75	0.77	0.77

この表に示されるように，同一年級からの総漁獲重 Y は，r が増大するにつれて，ともに増大するが，$r=0.5$ 以上では，この変化はあまり急激でない.

この地域でのこの漁業による漁獲物の年令は，0才ないし2才のものがもつとも多い，いま，0才から i 才までの間は，自然減耗による減少にまかせ，i 才を漁獲最少年令とするとき，0才のときに存在していた資源重量 P に対し，i 才以後の同一年級の魚に対する漁獲率 E_{ir} は

$$E_{ir}=\frac{qX}{r'}\cdot r\left(\frac{1-e^{-Z_0}}{Z_0}\right)e^{-Mi}\left(1+w_{i+1}e^{-Z}+w_{i+2}e^{-2Z}\cdots\right) \qquad \cdots\cdots(4.5)$$

となる.

w_i は0才を基準とした場合の i 才魚の重量である．この場合 X は r' に比例するとした．i と r とを変化させたとき，これに応ずる E_i の値を示すと第28表となる.

いまの例では r_1 や i を適当に変じて E_{ir} の値を極大にするというようなことはできない，すなわち，

第 28 表　California sardine で漁獲最小年令と利用度を変じた場合，ある年級重量に対する漁獲率

t_i（最少年令）／r（利用度）	0	1	2
0.1	0.174	0.137	0.087
0.2	0.319	0.256	0.142
0.3	0.431	0.359	0.199
0.4	0.535	0.468	0.235
0.5	0.731	0.557	0.296
0.6	0.732	0.606	0.336
0.7	0.734	0.664	0.367
0.8	0.749	0.735	0.406
0.9	0.773	0.753	0.435
1.0	0.776	0.838	0.464

一般に r が大きいほど，また，i が小さいほど E_{ir} の値は大である．したがつて，最小漁獲年令と，漁獲努力量を適当に調節して，漁獲重量を極大にする値を求めた EEVERTON・HOLT (1957) の方法のように，漁獲最小年令を規制するとか，あるいは漁場の拡大を適当に規制することによつて，一定量の加入資源量に対する漁獲量の値を最大にするような管理方策はとり得ない．（利用度が極めて1に近いときには漁獲を始めるのを0才より1才にした方が有利な例外がある）．

しかし，ここで，2つのことを注意しなくてはならない．第1は，若年魚の漁獲が，魚の再生産を防げ，新しい年級の発生を減少させないか，第2には，漁場の拡張は，そのコストを考えたときに経済的に採算が合うか，という2点である．この報文を書いたときすでに手許にある資料を扱つた範囲では，平均利用度 $r=0.25$，これに対して $Z=0.81$ であるが，実際の観測による見かけの値は0.5から3.3までであつた．このうち§2.10.でのべたような，利用度の変動に起因する部分を除けば，真の Z の値は0.7～1.3程度である．したがつて，かりに利用度を現在の2倍の 0.5程度としても，これによる Z の値は1.013，また $r=0.75$ としても1.26程度であり，このために特に現在に比べ，著るしく親魚の生残率が現じて，再生産を阻害するとも思われない．したがつて，利用度の増加による漁獲の強化は，新しく資源に加わる加入量自身に影響を及ぼすとは考えられない．そして加入年級からの漁獲重量は，漁場面積の拡大と，努力の増加によつて，増大することを期待することができる．

しかしながら，この魚の資源量自身は MARR (1959，既述) のいうように，1946年，1949年の再度にわたり，激しく減少し，しかもこれは，この年級の発生年に存在していた資源量との明瞭な関係はない．このような場合，かりにある年級重量に対する漁獲率を増大することができても，その年級の加入量自体が減少しているのであれば，この減少が漁獲の影響によるのであるかどうかは別として，漁獲重量の増加は加入量自体の増加をまたなくては望めない．

一方，漁場の拡大のためには，漁港設備，その他の経費の増大をともなう．しかしまた，音響調査等によれば（CLARKE & MARR 既述）濃密な魚群が現在まだ未利用のまま毎年メキシコ領海に入つているらしく，面積が増加する以上に利用度 r は増大すると思われる．

これらの点を綜合して考えると，メキシコ領バハ・カリホルニヤ州では資源にあまり悪い圧力を加えることなしに，イワシ漁業の開発により，増産を期待しうるのであるが，これが飛躍的な生産の増加をもたらしかつ採算が合うかどうかは，むしろ人為的に管理できない要因により，年級加入量が増加傾向にあるかどうかに依存していることにかかつている．

こで注意に価することは，前述のように，年級加入量に対する漁獲重量の比率 E_{ir} は，若年魚から漁獲を始める方が一般に大であるが，利用度の増大にともなう漁獲の増加率は，高年魚から漁獲を始める方が大である．すなわち，$r=0.1$の場合に比し，$r=1.0$の場合は，$i=0$ すなわち0才で漁獲を始めるとき E_{ir} の値は3.2倍であるが，$r=1$ のときこの値は4.2倍，4才のとき4.7倍である．

(2) 日本海大羽イワシ流網漁業の診断

日本海大羽イワシ流網漁業資源の変動は，第2章でものべたように，第二種利用度の変動を伴つているとして取扱うことが理解しやすい．

1951年から59年まで，2才魚以上の高年魚について，流網の航海当り漁獲量と，年令組成から得られた生残率と航海数から，第2章でのべた方法によつて，$M=0.4$，$\bar{r}=0.50$が得られた．これから毎年の利用度，漁獲係数，漁獲率などを求めると第29表のようになる．

すでに第3表で示したように，流網の航海数は，この海域では近年増加のきざしはなく，漁獲率は航海数という人為的に管理である要因ではなく，利用度の変化によつて，10～30%の範囲を変動している．

しかも，この漁獲率の値は，自然死亡係数に比して決して高いとはいえず，1954年のような，1に近い利用度を有するときでも，漁獲のために高年魚の減少を来らせるにはいたつていない．

この報文を執筆している現在，日本海北区（石川県以北青森県まで）では，巾着網はイワシ類を主な目的物としておらず，アジ，サバを主目的としている．しかし，もしこの漁法がイワシの漁獲を高めるとして考える．現在 $\hat{q}X=F$ の値の平均は0.49であるが，この値を約5倍の 2.5にまで種々に変化させ，また平均利用度を種々に変じた場合，加入量あたりの漁獲重量を，California sardine と同様にして計算すると，第30表のようになる．

第 29 表　日本海北区大羽イワシの年令の利用度，漁獲係数，および漁獲率

$\bar{r}=0.5$　$M=0.4$　$\hat{q}=1.341\times10^{-5}$　（×は航海数を単位としたとき）

年	r	F	E
1951	0.37	0.46	0.114
52	0.41	0.57	0.150
53	0.63	0.48	0.166
54	0.94	0.51	0.313
55	0.58	0.57	0.210
56	0.44	0.52	0.148
57	0.45	0.46	0.154
58	0.37	0.39	0.100

第 30 表　日本海大羽イワシ，利用度と漁獲係数の変化にともなう漁獲率，生残率，漁獲重量などの値
（成長にともなう増重量は　2才…1.00　3才…1.159　4才…1.393　5…才1.439 とした）

E（漁獲率）

F \ r	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0
0.5	0.099	0.164	0.230	0.297	0.328
1.0	0.156	0.258	0.362	0.465	0.517
1.5	0.202	0.336	0.472	0.605	0.672
2.0	0.232	0.338	0.543	0.698	0.776
2.5	0.244	0.407	0.570	0.733	0.815

P（資源重量）加入したときの年級量＝1として

F \ r	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0
0.5	2.607	2.345	2.105	1.824	1.822
1.0	2.351	1.966	1.720	1.484	1.397
1.5	2.237	1.829	1.532	1.302	1.273
2.0	2.161	1.737	1.434	1.207	1.174
2.5	2.109	1.702	1.374	1.156	1.069

s（生残率）

F \ r	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0
0.5	0.590	0.538	0.483	0.434	0.406
1.0	0.539	0.455	0.374	0.287	0.247
1.5	0.514	0.408	0.306	0.202	0.149
2.0	0.496	0.383	0.265	0.149	0.091
2.5	0.484	0.375	0.237	0.117	0.055

Y（漁獲重量）加入年級量を1として

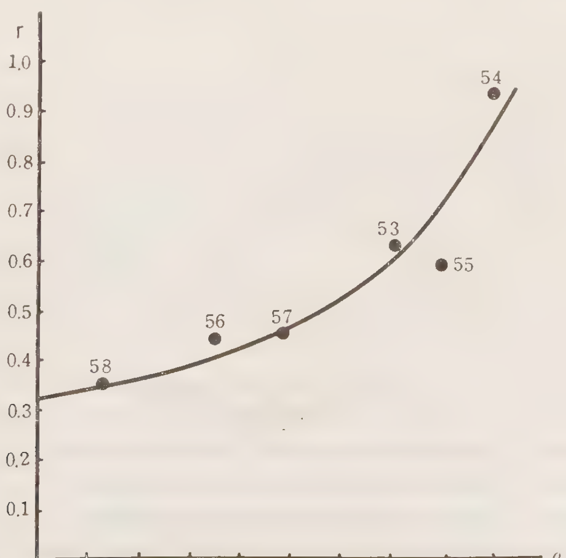
r ＼ F	0.3	0.5	0.7	0.9	1.0
0.5	0.258	0.385	0.484	0.541	0.597
1.0	0.367	0.515	0.623	0.690	0.721
1.5	0.452	0.614	0.723	0.623	0.855
2.0	0.502	0.591	0.778	0.843	0.867
2.5	0.514	0.693	0.783	0.847	0.870

これに示されるように，利用度，および漁獲係数などは，ともにこの値が増大するにつれ，漁獲率も，加入量あたりの漁獲重量も増大する．したがつて，日本海北部の大羽イワシの場合には，漁獲率や，加入量あたりの漁獲重量を最大にするような利用度や漁獲係数の値は存在しない．そして，利用度の値が小さいときほど，漁獲係数の増加は漁獲量の増大をまねく．しかしながら，漁獲係数と漁獲量とは比例せず，後者は前者の増大に対して頭打ちの傾向にある．したがつて，経済的な見地からみると，利用度がある程度より大きいときは，漁獲係数の増大は必ずしも得策ではない．

このように，加入量あたりの生産量は，漁獲係数と，利用度の変化に応じて増大することもあるが，一方親魚量の残存量と，これに由来する新しい年級の加入量との関係は，California sardine の場合にはそうであつたが，まだ明瞭でない．したがつて，親魚量の減少と，それによる再生産量との関係に対して漁獲がいかに作用するかはここでは十分に論ずることはできないが，第12図で示したように，近年は，新しい年級の方が少く，この地域では減少気味であり，かりに，加入量あたり漁獲量が増大しても，これは全体としての増産にはなり得ない．

§4.2. 利用度の計算による漁獲量の予想—日本海北部の大羽イワシ—

宇田（1959）は，新潟県の漁獲量の年々の変動をしらべ，1954年から58年までの間で漁獲量の大きい方からならべた順位と，佐渡沖での対馬暖流の接岸方向との関係についてのべており，流軸が陸地に垂直に近いときは豊漁，平行なときは不漁であるといつている．
第2章でのべた方法で推定したこの場合の利用度の値と対馬暖流々軸方向との関係は第32図のようになる．



第 32 図　日本海北部の対馬暖流流路が陸地となす角 θ と大羽イワシ利用度 r との関係
（陸地は大略南北に向つているとした）

すなわち，海流が陸に直角に向つているときには利用度は1に近く，また平行なときには40%をこえない．

前述の方法で計算するときは，ある年の漁期における利用度を知るためには，その漁期から次の漁期にわたる生残率の値を必要とする．すなわち，ある漁期には，その前の漁期までの利用度が得られるのみであるが，この関係を用いて，海流々路から利用度の値を推定すれば，逆に，これから始る漁期の残存資源量と，努力あたり漁獲量の値を予想することができない．

しかしながら，ある年，たとえば1959年の漁期の直前において，すでに得られている情報としては，前年すなわち1958年までの努力量，年令組成等であり，したがつて生残率は，さらにその前年，すなわち1957年までの値までしか得られない．したがつて，1958年1959年の2カ年間の利用度を，海流々路から推定しておくことが必要である．

1958年までの年令組成，努力量，したがつて57年までの生残率，利用度等の推定値を知り，59年の努力あたり漁獲量を推定し，実際の値と比較した結果を示す．

57年の利用度　0.45

58年海流方向　$\theta=10°$　努力量 $X=343\times10^2$

これによる利用度の推定値……0.34

59年　$\theta=27°$

これによる利用度の推定値……0.38

$\hat{M}=0.4$　$\hat{q}=1.341\times10^{-3}$

58年から59年への減少係数

$$Z=M-\log\left[re^{-\hat{q}X}+(1-r)\right]=0.82$$

生残率　$S=e^{-0.82}=0.44$

見かけの生残率　$S'=S\times\frac{r_2}{r_1}=0.44\times\frac{0.38}{0.34}=0.48$

58年における2才以上の魚の努力あたりの漁獲量……4.90×10^3

59年における3才魚以上の努力あたり漁獲量の推定値

$4.90\times0.48=2.34(\times10^3)$

実測による値では，利用度は0.37，見かけの生残率は0.42，また，3才魚以上の努力あたり漁獲量は2.09×10^3であり，予想値は実際より12%の過大推定であつた．*

ただし，この方法では，3才以上の高年魚の推定はできるが，漁獲物の半ばをしめる2才魚の推定はできない．これは稚仔量，当才魚漁獲量などから別個に推定しなくてはならない．（YAMANAKA, 1960）

また，この例では，海流々路と利用度の関係が極めて明瞭であつたが，この他にもこのような簡単な例が多くあるかどうかはわからない．しかし，海況と漁況に関する研究は数多いが（下村，1953 其他）多くは定性的な取扱いであり，または，漁獲量との関係の単なる現象論的な相関関係を論じていて，資源量の変動自身との関係で論じているものはすくない．このような取扱いを，資源の利用度の変動という考えをもちこむことにより，今ほどのこの方面の研究は，数量的な取扱い方法に進歩をきたし，漁況予報の理論自体の発展に資するものと思われる．

摘要及び結論

(1) 従来 BARANOV より BEVELTON•HOLT 等にいたるまでの多くの著者によつて試みられた，漁獲物の年令組成から求めた生残率を用いる資源量変動解析の基本的数学模型は，いずれも努力量あたり漁獲量を資源量に比例するものとし，漁場には魚の全量が来遊し，また自然死亡率も一定として取扱つている．標識放流を用いる場合でも，根本的には相違がない．

しかし，加入量自身の変動を考えにいれず，加入したものの死亡率による変動のみを取扱にいれた場合で

* 報文脱稿後59年までの資料により，60年の予想と実際とを比較したがやはり同程度の相違であつた．

も，日本のイワシ漁業，底魚等の実際の漁業にこれを適用してみると，時には，得られた資源特性値（自然死亡率，漁獲係数など）に，負の推定値が得られたり，時には非現実的な高い値が得られたりし，また，その推定値の信頼限界のはばが極めて大で，実際の漁業の診断に用いるに適当でない事例をしばしば生じている．ことに，漁場えの出入がはげしい洄遊魚の場合に，このようなことが多い．このような不合理のおこる理由を追及するために，漁場には海中の魚の一部のみが来遊する場合があることを考え，漁場に来遊する魚の，全資源量に対する比，すなわち，MARR (1955) による利用度（avilability）を，資源変動を扱う数学的模型の中にとり入れる必要が生じてくる．

このため，まず，漁場に来遊，または逸散する魚の量が，正弦関数となる場合について考えた，漁獲死亡自然死亡の両原因による減少係数と，この正弦曲線の形を定める定数の値を種々に変じた場合の資源量の変動様式を第7，8図に示し，また，以東底曳漁業（日本海西南海域）の実際の資料を用い，アナログ・コンピュータによつて実際の減少係数を求めることを試みた．

魚の漁場への出入を示す関数として，特別な形を定めず，単に平均が0でない任意の関数として，日本海西南海域の以東底曳，以西底曳などの例について実際に解くことを試みたが，この方法では来遊量を満足な結果をもつて解くことはできなかつた．

(2) さらに，考えをすすめ，漁場への出入のため，魚群の一部のみが漁獲の対象となつている場合，すなわち利用度の値が1より小さい場合に，漁獲努力量と総減少係数の関係を考え，利用度の時間的変動を資源変動の数学的模型に導入することを行つた．

利用度に変動のあることは，経験的には昔から知られていたものであり，その機構としては，魚と漁具との生物学的作用の相違によるもの，また，海況などによつて生ずる漁場の構成場所と，出漁可能な海域との関係による漁場学的なものをも考えることができる．また，年令組成にあらわれる変化が，生残率の変化よりは，むしろ利用度の変動によるものとして解釈し得る場合があることを，California sardine や，日本海北部のマイワシ，日本海西南部のソウハチガレイ等の実例についてのべた．

利用度が1である場合には，漁獲努力量は漁獲係数に比例し，これと自然死亡係数とを加えた総減少係数は，努力量に対して直線的になる．しかし，利用度が1より小さい場合（partially available)では，漁場内に来遊した部分についてのみに上述の関係がなりたつが，来遊しない部分は自然死亡係数のみが作用するため，努力量 X と全減少係数 Z との関係は直線的ではなく，WIDRIG (1954) が示した式

$$Z=M-\log\left[re^{-\hat{q}X}+(1-r)\right]$$

となる．ここで r は利用度 $\hat{q}$ は catchability coefficient である．

r の平均値 $\bar{r}$，$\hat{q}$, M の3つを未知数とし，3組以上の X と Z との観測値を漁獲物の年令組成や漁獲努力統計によつて求め，数値解法によつて $\bar{r}$，M，$\hat{q}$ の最確値を求め，原式に代入して残差を求める．この残差は利用度が漁期によつて平均値からはずれていることによるものである（種々の統計値には誤差がないものとする）上の式は $\bar{r}$ が1に近いほど直線に近く，また $r=0$ に近いほど水平に近い．そして利用度の変動が少いときは X と Z とを座標とする点はその曲線上にのるが，変動があるときはこの曲線から外れる．このようにして，平均利用度 $\bar{r}$ と各々の漁期の利用度の変動とを用いて，ひとつひとつの漁期における利用度を推定する方法と California sardine を用いた実例とを示した．実際の漁場面積と，この利用度の推定値を比較すると，この比較に供した期間はきわめて短いが，両者の間にはある程度の相関があるようである．

この考えをさらにひろめて，ひとつひとつの年級の利用度を求める方法を論じた．すなわち，ひとつの漁期の減少係数のみかけの値は，実際の減少係数に，利用度の2漁期間の値の比の対数が加わつたものであり，いくつかの年級をこみにした減少係数と，ある年級の魚のみの減少係数との差は，年級全体をこみにして求めた利用度の比と，求める特別な年級の魚の利用度の比との差になる．この関係を用いて，同じく California sardine についてひとつひとつの年級の利用度を求めることをこころみた．

利用度は，上述のように，全魚群量に対する漁場内にある魚の量の比であるが，漁期による変動の形を

(i) 第一種の利用度の変化：漁期による漁場面積の変動，あるいは魚が分布している海域の中で漁船

が出漁できる面積の変化によるもの，(ii)：第二種の利用度の変化，一定面積の漁場の中で，漁期による魚の密度の変動によるもの……等々をとりあげた．これらはいずれも漁場の内外では魚の密度は等しいとして取扱つた理想的な場合であるが，漁場の内外の密度がことなつている場合においても，(iii)：第三種の利用度変化……第一種の利用度変化と同じく，利用度の変動が魚の分布する総面積によらず，漁期による漁場の拡張縮少によるもの，(iv)：第四種の利用度変化……(ii) の場合と同じく，漁場面積は漁期によらず一定であつて，その中における魚の密度が漁期によつて変動する場合……等々をとりあげた．

同一単位努力量による漁具能率 (catchability coefficient $\hat{q}$) の値は，第一種の利用度変化があつてこの値が r のとき，完全利用の場合の $1/r$ 倍になるが，第二種の利用度変化があるときには，この値は変化しない．(この場合，$\hat{q}$ は，漁場内の魚の量に対し，1努力によつて漁獲される量の割合である．) したがつて，全資源量に対する漁獲係数は，第一種の利用度変化によつては影響されず，第二種利用度には比例するが，利用されうる部分のみに対しては，第一種利用度には逆比例し，第二種利用度変化には影響されない．

全減少係数，漁獲率などの値は，いずれも漁期による第一種利用度変化と，第二種利用度変化のそれぞれの場合にことなつた影響をうける．すなわち，第一種の利用度変化に対しては，漁獲率はあまり変化をともなわないが，第二種の利用度変化にともなつて，これは大きく変化する．したがつて，漁期による努力量の変化がない場合でも，第二種の利用度変化がある場合には，資源に対する圧力は，これにともなつて変化する．しかし，実際的の見地からみれば，第一種利用度変化がある場合には漁場面積が変化し，これは努力量の変化を伴うことが考えられる．第三種利用度変化は，新漁場の開拓や，あるいは国際関係による漁業規制ラインの設定等のように，漁場面積の変化とともに，その中に魚の密度の高い好漁場が利用される部分に入つたり，あるいは除外されることによつておこることが考えられる．この場合，漁獲率は，漁場面積と魚の分布する面積との比（面積利用度）に逆比例し，魚の実量比（真の利用度）に比例する．

第四種利用度変化は，数学的模型としては，第二種の変化に転換することができる．相続く2漁期における単位努力量あたり漁獲量の比によつて得られる見かけの生残率と，真の生残率との相違については．

(i)　第一種利用度変化のある場合は，見かけの生残率は真の生残率に等しい．

(ii)　第二種（および第四種）利用度変化のある場合は，見かけの生残率は実際の生残率に利用度の変化を乗じたものである．

(iii)　第三種利用度変化があるときは，見かけの生残率は，真の生残率に，面積利用度の逆数および真の利用度をそれぞれ乗じたものになる．そして，魚の濃密な部分が漁場の周辺部にあるか，（A型）あるいは中心部にあるか（B型）等によつてことなる．A型の場合は，第二種利用度変化と近似した取扱をすることができる．

このように，利用度の値は，生残率の変化から推定されるのであるが，これを直接に求めることは，漁場内の各地域ごとの魚や努力量の分布や，漁場外の魚群分布が十分に行われなくては不可能である．

しかしながら，日本海北部のイワシ流網漁業で，産卵調査によつて推定された親魚の分布と，漁場として利用される漁船の出漁海域とから推定された利用度の平均値は約0.30であり，また，漁獲物の分析から求めた値は約0.50であつて，一致はしないが，極端にことなつているということもできない．

漁場別統計がある程度用いられるいくつかの漁業について，漁場内での努力量漁獲量，および漁獲努力あたり漁獲量などの時間的，および空間的の変動パターンから，どのような利用度の変動型式があるかを推定してみた．California sardine，東北海区サンマ漁業，日本海西南海区の以東底曳漁業までは，第三種A型または第一種，また以西底曳漁業で，いわゆるマツカーサーラインの廃止前後の，同ライン内外の努力あたり漁獲量と，漁場面積とを比較した結果では，第二種の利用度変化がそれぞれ妥当と思われた．

(3)　漁場面積が時期によつて変化するときには，資源量を示す指数としては，単なる努力あたり漁獲量よりも，これを全漁場面積について加え合せたものの方が，より適しているのであるが，これを用いて求められた見かけの生残率は，第二種利用度変化があるときと同様に取扱うことができる．

回遊魚の場合，同一の魚群が漁場に長く滞留しているのでなく，次々と交代があるときの取扱いについて考えた．努力あたり漁獲量と年令組成から求められた生残率は，漁期の長さ T と，同一魚群が漁場に滞留している長さ τ が毎年ともに一定である場合には，偏りを生じない．しかし，この場合，努力量と，総減少

係数との回帰関係から求めた漁獲係数は，実は τ（T を単位として）を係数として含んだ τF の値である．

日本海北部の大羽イワシでは τ=1/6 乃至 1/10 であり，漁獲物の組成と努力量から求めた $F\tau$ は0.12～0.43である．また，産卵調査で産卵量を推定し，これから親魚量を求め，漁獲量と比較すると $F\tau$=0.13～0.23となり，両者の一致はかなり良好である．

漁期が周年でなく，1年のうちの一部にすぎないとき，$\hat{q}$ および M を減少係数と努力量との回帰によつて推定すると，これらの推定値自身は影響はうけないが，これから漁獲率 E を求めると，この値は過少推定となる．しかし，California sardine の実例で示されるように，この量はあまり多きにはならない．自然死亡が周年にわたつて少しづつ生ずるのでなく，一年のある時期に，一時におこる場合についてもほぼ同様である．

前述の日本海イワシのように，漁期中に魚群の交代があり，漁期によつて，同一魚群が漁場内に停留する時間の，全漁期に対する比率がことなるとき，第一種時間的利用度の変動があるといい，後者の California sardine のように，漁期が一年の一部に限られ，この長さが漁期によつてことなるときに，第二種時間的利用度の変動があるという．

第一種時間的利用度の変化は，漁獲率に影響を及ぼすが，第二種時間的利用度の変化は，例として扱つた実際の漁業ではあまり影響は大きくない．

第一種時間的利用度の変動の一形式として，魚群が移動して漁場の位置が順次に変化する場合について考えた．魚が一定速度 v て進行するとき，単位面積あたり漁獲量の値を，漁場の各位置ごとにとり，これを，時間と漁場の全域の双方について積分するとき，魚の分布範囲のある部分は漁獲中にある時間が長く，ある部分は短い．そのために，上記の積分値から生残率を求めると，偏りを生ずることがある．新潟県沖の大羽イワシ漁場で，魚の通過があるとして，この取扱を1953～54の両漁期についておこなつて生残率を求めると，新の値の11/8倍であつた．

実際の場合，漁場の移動は不連続的であり，ある所に漁場が発生すると，その位置は変じないで，順次に魚が新しい漁場に移つて行くことがよくあるが，この場合，両漁場の努力あたり漁獲量 c_A，c_B と，その面積 A，B との間には

$$Ac_A+Bc_B=Nq_0$$

という関係がなりなつ，ここで q_0 は単位面積についての catchability coefficient である．これを用いて，魚がある漁場から順次に次の漁場に移る場合の漁場の面積比が得られるが，石川，新潟両県沖でのイワシ流網漁業でこれを応用してみると，実際の漁船の分布から測定した漁場面積比との相違は10～20%であつた．

(4) 漁獲努力が，漁獲という間引き以外に生態学的な漁場荒廃という形で生物学的利用度の変動をおこすという作業仮説がたてられた．ある程度の実例もあるが，この場合，努力量の累積値と努力あたり漁獲量との関係は DE LURY の方法で得られるような直線的ではなく，下方に彎曲する．山陰のサバ旋網漁場で，この関係を検したが，数値的な解は困難であつた．

(5) 最後に，利用度の漁期による変動の解析を応用して，資源の診断と予察をおこなうことをこころみた．

(A) 自然死亡率，および漁獲係数が一定であるとき，成長にともなう体重増加を考えに入れ，加入量あたりの生産量が，利用度を変動にともなつていかに変化するかを考えた．成長，自然死亡率，漁獲係数などの大小関係によつて，加入量あたりの生産量を最大にする利用度の値が存在するかどうかが定まる．

2つの応用例を示した．

(i) 現在あまり漁獲がおこなわたていないメキシコ領バハ・カリホルニヤ地方で根拠地の増設による California sardine 漁業開拓の可能性について

漁場面積が増大して，これにともなつて収容しうる漁獲努力量が増加するとする，利用度は現在0.25程度であるが，これをその2倍の 0.5にするまでは生産量を増大する余地があるが，それ以上はあまり増加しない．

また，漁獲最小年令は，若年とする方が有利ではあるが（加入量自身に変化はないものとして）利用度の増大にする漁獲量増加の効果は，漁獲を高年から始めるときの方が大である．

(ii)　日本海北部大羽イワシについて，

日本海北部の大羽イワシ流網漁業では，現在平均利用度は 0.5内外で，漁獲率は，努力量よりも，むしろ利用度の変化によつて左右されて変化している．しかし，現在求められている自然死亡率の推定値からみると，殆んど完全に魚群が漁場に入つて rが 1 に近い場合でも，流網の漁獲のために高年魚が特に著るしく減少するというようなことはない．

また，巾着網の増加などがかりにおこなわれて，漁獲係数が現在の５倍程になつても，漁獲率，加入量あたり生産量ともに増大する．

しかしながら，利用度が大きい場合には，漁獲係数の増大は経済的にはあまり得策でなく，また，加入量自体が減少している現在，積極的な増獲は期待できない．（しかし，この加入量減少が親魚の減少による再生産関係の悪化によるものかどうかは不明であり，これについてはこの報文ではのべていない．）

(B)　利用度の変動解析の漁獲量予報への応用

日本海の大羽イワシの利用度の推定値は，対馬暖流の流軸が陸地に向うときは 1 に近く，平行なときは 0.4をこえていない．このことを利用すれば，海洋調査によつて利用度を推定することができる．

努力量と生残率とを用いて，ある年の前年までの利用度を求め，前年，当年の２カ年の利用度を海洋調査によつて求めれば，その年への前年からの見かけ上の生残率が推定され，したがつて漁獲量の予想を行うことができる．

1958年までの漁獲物の分析と58，59の両年の海洋調査による1959年の漁期への予想をこころみると，３才以上の高年魚は努力当り漁獲量 2.3×10^3 尾と推定され，実際より12%の過少推定であつた．

ただ，この方法では，若年魚の推定はできず，これは稚仔量調査等別な方法によらなくてはならない．

文　　献

相川広秋 (1949)．水産資源学総論．東京産業図書KK．

Baranov, F. I. (1918). On the Question of the Biological Basis of Fisheries, *Nauchuyi Isvtevatlskii Iktiologichbeskii Institute, Izvestia* Vol. 14.

Beverton, R. J. H. (1954). Note on the Use of Theoretical Models in the Study of the Dynamics of Exploited Fish Populations, *Miscellaneous Contribution of U. S. F & W. S.*

Beverton, R. J. H., S. J. Holt (1957). On the Dynamics of Exploited Fish Populations, *Fisheries Investigations. U. K. Ministry of Agriculture and Fisheries, Ser.* II. Vol. 19.

Clake, F. N., J. C. Marr (1955). Population Dynamics of the Pacific Sardine *in Progress Report of California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations.*

Clotheir, C. R., E. C. Greenhood (1956). Jack Meckeral and Sardine Yield per Area from California Waters, 1946–47 through 1954–55. *Fish, Bulletin No.* 102, *California Dep. Fish and Game.*

De Lury, D. B. (1949). On the Estimation of Biological Populations *Biometrics Vol.* 3, *No.* 4.

土井長之 (1956)．水産資源の力学的取扱い(1)．日水誌，Vol. 21, No. 11.

Gulland, J. A. (1955). Estimation of Growth and Mortality in Commercial Fish Populations *Fisheries Investigations. U. K. Ministry of Agriculture and Fishenes Ser.* II. *Vol.* 18, *No.* 9.

木村喜之助 (1956)．海況による魚群の集合分離の一理論．東北海区秋季のサンマ漁場に関して，東北水研報，No. 7

———— (1960)．東北海区サンマ漁況に関する資源学的考察．同上，No. 14

伊東祐方・渡辺和春・西村三郎・笠原昭吾 (1954)．能登近海におけるマイワシ産卵時刻と夜間の行動．日水研研究年報，No. 1

———— (1958)．特定水域内におけるマイワシ産卵量の推定の一例．　同 No. 2

久保伊津男・吉原友吉 (1957)．水産資源学．共立出版社

真子　渺 (1959). 銘柄組成による底魚資源の解析(1), 銘柄組成より年令組成を推定する方法. 西海区水研報告, Vol. 16

MARR, J. C. (1955). On the Use of the Terms, Abandance, Availability and Apparent Abandance in Fisheries Biology; *Copeia No.* 2

———— (1959). The Causes of Major Variations in the Catch of the Pacific Sardine, *Contribution to the World Scientific Meeting on the Biology of Sardines and Related Species, Rome, Italy*

富田和夫 (1959). 対馬暖流の四季と北部日本海春の大羽イワシ漁況予報. 日水研パンフレット No. 8

中井甚二郎・宇佐美修造等 (1955). 昭和24—26年イワシ資源協同研究経過報告. 東海区水研

日本海区水研 (1949) (1950) (1951). 以東底曳資源調査要報. No. 1～3

大島泰雄 (1953). 原稿未発表, 資源量推定のこころみ

RICKER, W. E. (1954). Stock and Recruitment, *J. Fish. Res. Bd. Canada Vol.* 11 *No.* 5

———— (1958). Handbook of Computation for Biological Statistics of Fish Populations. *Bulletin Fish. Res. Bd. Canada, No.* 119

———— (1959). Maximum Sustained Yield From Fiuctuating Enviroments and Mixed Stocks. *J. Fish. Res. Bd. Canada, Vol.* 15 *No.* 5

SATOW, T. (1955). Trial for the Estimation of Fishing Mortality of a Migratory Fish Procession, *J. Shimonoseki Fish. Coll. Vol* 4 *No.* 2

水産庁福岡漁業調整事務所 (1951, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59). 以西トロール・機船底びき網漁業漁獲統計表要報. No. 9～25

下村敏正 (1953). 海況による漁況予報. 科学 Vol. 24, No. 10

田中昌一 (1957). 資源量の相対的指数と有効努力量. 東水研報告, Vol. 17

田内森三郎 (1949). 水産物理学　朝倉書房

TAYLOR, C. C. (1958). Natural Mortality Rate of Georges Bank Haddock. *Fish. Bull. U. S. F & W. S. No.* 128

東北海区水産研究所 (1951～55). 資源調査要報 (1950～54度分)

内橋　潔 (1956). マサバのすう光性に関する特異的反応. 対馬暖流調査第4回シンポ発表論文, 水産庁

———— (1960). 魚類の遊泳定位について. 日水誌, Vol. 26, No. 3

渡辺　徹 (1958). 兵庫県津井山沖における底魚群集構造に関する研究. 兵庫水試報告, No. 9

————・小川良徳・山中一郎・大内　明・尾形哲男等 (1960). 日本海西南海域の底びき網漁業とその資源. 日水研及び福井, 兵庫, 京都, 鳥取, 島根, 山口外海外水試

WIDRIG, T. M. (1954). A Method Estimating the Size of Fish Population with an Application to Pacific Pilchard *Fish. Bull. U. S. F & W. S. No.* 94

山中一郎 (1956). 年令組成による資源解析 (日本海の底魚漁業とその資源) 日水研研報告, No. 4

————・伊東祐方 (1957). 昭和29年イワシ資源協同研究経過報告. 日水研

YAMANAKA, I. (1957). Some Remarks in Estimating Natural Mortalities in Population Dynamics of fish Resources *Annual Report. of Japan. Sea Regional Fish. Research Laboratory No.* 3

———— (1960). Comperative Study of the Population Size of Japanese and California Sordines *ibid.* No. 5

———— (in manuscript). On the Availability of California Sardine

山中一郎 (1960). 利用度と再生産曲線からみた日本海イワシ資源の現状について. 日水研年報 No. 8

ABSTRACT

MATHEMATICAL MODEL OF THE FISH POPULATION CONSIDERING THE CHANGE OF THE AVAILABILITY

ICHIRO YAMANAKA

Japan Sea Regional Fisheries Research Laboratory
Niigata, Japan

Symbols of Frequent Uses

Symbol	Term
N	stock number (total number of fish in stock)
P	stock biomass (total weight of fish in stock)
C	catch in number
Y	catch in weight
Z	total mortality coefficient
F	fishing mortality coefficient
M	natural mortality coefficient
R	recruitment
X	fishing effort
$\hat{q}$	catchability coefficient
s	survival rate
E	exploitation rate
t	time
i	unit time in a season
r	availability
c	catch per effort

Note; With the exceptions of r, and c, the symbols in use followed the international agreement (HOLT, GVLLAND, TAYLOR, and KURITA 1959). The catchability coefficient q is, however, defined as F/f, (f is effective overall fishing intensity) in the agreement, instead of F/X in this text. In order to avoid confusion, $\hat{q}$ is used huee.

Mame of Species Appeariug the Explanation of Tables and Figures

English or Japanese name	Scientific name
Japanese sardine	*Sardinops melanosticta*
California sardine	*Sardinops caerulea*
Mackerel	*Scomber japonicus*
SOHACHIGAREI	*Cleisthenes herzensteini*
KIGUCHI	*Pseudosciaena manchuria*
Saury	*Cololabis saira*
NIGISU	*Argentina semifasciata*
AKAMUTSU	*Döderleinia berycoides*
haddock	*Melanogrammus aeglefinus*

LIST OF TABLES

1. The values of $\hat{q}$, (catchability) M (natural mortality coefficient) and their variances in trawl fisheries in the western Japan Sea.
2. Total mortality coefficient and amount of efforts (in number of hauls) of SOHACHIGAREI in the western Japan Sea.
3. Amount of effort, (in number of trips) and total mortality coefficient of large sardine gill net fisheries in the Japan Sea.
4. The estimated values of M and $\hat{q}$, and their precision in the purse-nets of small sardine fisheries in the Eastern China Sea.
5. Z, and X (in boat-month) of the Californian sardine.
6. The values of N and C in a thought experiment, assuming $N_0=100$, $M=0.5$, $\hat{q}=0.002$, and X being variable between 20 through 100, and the values of Z, computed therefrom.
7. The amount of catch per effort by month in the trawl fisheries in the western Japan Sea.
8. The value of Z when a periodical migration to and from the fishing ground exists.
9. The values of $\hat{q}$, R' (mean recruitment) and M in the trawl fisheries in the western Japan Sea.
10. The value of X, C/X and Z of KIGUCHI in the trawl fisheries in the East China Sea.
11. The values of $\hat{q}$, R, and M of KIGUCHI of the trawl fisheries in the East China Sea, when the migration to and from the fishing ground exist.
12. Estimated values of r, (availability), C, C/X in California sardine.
13. The square summation of residuals of the formula (2.4) when M and r change their values.
14. The estimates of M of California sardine of each fishing season assuming $F=0.45$.
15. The estimates of r of California sardine by year class.
16. The estimates of r of California sardine when the availability varies in Type I.
17. The expansion of the fishing ground of the California sardine and the change of r (by a thought experiment).
18. The space of the fishing ground of Japanese saury in the eastern off Honshu, and the amount of landing.
19. The space of fishing ground and amount of catch per effort, in the trawl fisheries in the Western Japan Sea.
20. Catch per unit effort of the trawl fisheries of Hyogo and Tottori Prefectures.
21. The space of fishing grounds of NIGISU and the value of C/X (trawl fisheries in the Western Japan Sea).
22. The space of fishing ground and C/X of AKAMUTSU (trawl fisheries in the Western Japan Sea).
23. The space of the fishing ground and C/X in the trawl fisheries in the East China Sea.
24. The estimates of population parameters employing "stock indics" or integrated value of C/X.

25. The values of Z, and E in accordance with the change of r.
26. Relative body length and body weight of California Sardine of each year of age.
27. Stock biomass P, and catch in weight Y, of the same year class in accordance with the change of the availability of California sardine.
28. Exploitation rate on a certain year class biomass when the age at first capture t_i and the availability change their values.
29. r, F, and E of large sardine in the Northern Japan Sea.
30. The values of E, s, and Y of large sardine in the Northern Japan Sea in various value of the availability.

LIST OF FIGURES

1. The amount of accumulated effort and catch per effort in thought experiment.
2. The values Z. and X when negative value of M is obtained.
3. The change of the values of catch per effort c, X, and Z within a season when a negative value is obtained in M.
4. The change of c, and X of the sardine purse seine fisheries in Fukuoka Prefecture, 1954.
5. The value of X, and Z, when a negative value is obtained in F.
6. The change of C/X, X, and Z within a season when F shows a negative value.
7. The solution made by an analog-computer of the equation showing the change of population size in a season when a periodic recruitment exists,

$$-\frac{dN}{dt}=-NZ+R\sin\omega(t-\tau), \qquad \tau=0$$

8. The compution as same as Fig 7. But

$$\tau \neq 0$$

9. The availability, catch, and catch per effort of California sardine.
10. Age composition of California sardine.
11. Age composition of Japanese sardine in the Northern Japan Sea.
12. Catch per haul of SOHACHIGAREI by the trawl fisheries in the Western Japan Sea.
13. X and Z of California sardine.
14. Space of fishing ground and availability of California sardine (From, *Calif. Dep. Fish & Game, Fish. Bull. No.* 102)
15. The values of Z and E with the change of the availability Type I.
16. The values of Z and E with the change of the availability Type II.
17. The relationship between the virtual availability and the areal availability when the availability changes in Type III.
18. Fishing ground of California sardine (From Fish. Bull. No. 102)
19. The space of the fishing ground and the landing of saury in the Pacific Off of Honshu.
20. The comparison of the C/X and its summation throughout the whole fishing ground area of the trawl fisheries of the Western Japan Sea.
21. The density distribution pattern of fish when schools shift.
22. Model of procession of fish school of sardine off Niigata prefecture.

23. The pattern of the change of fish density when shoals move from one ground to another.
24. Change of catch per effort within the 1957 fishing season in two fishing grounds respectivelly in Ishikawa and Niigata Prefectures.
25. Change of the amount of catch, effort, and catch per effort of the sardine fisheries off Ishikawa Prefecture in 1957 season.
26. Change of the amount of catch, effort, and catch per effort of the sardine fisheries off Niigata Prefecture in 1958 season.
27. The method estimating the ratio of the fishing ground area by the change of density in two fishing grounds.
28. The space of practical fishing grounds of sardine gill nets in Niigata and Ishikawa Prefectures.
29. Explanation of the change of catch per effort in two fishing grounds when the decreasing exists.
30. Accumulated effort and catch per effort when the biological availability changes its value.
31. Catch per effort, accumulated effort, double accumulated effort of mackerel in San-In district by purse nets fisheries in 1958 season.
32. The relationship between the angle of the axis of Tsushima current and the coast θ, and the value of availability of sardine in the Northern Japan Sea.

ABSTRACT OF THE TEXT

(I) In the most of the conventional population dynamics study of fishes applying methematical models which start the analysis from the survival rate obtained age composition, such as which have been deviced since BARANOV to BEVERTON • HOLT, and RICKER, the values of catch per unit effort has been considered to be proportional to the population size; the whole of the population migrate to the fishing ground; and the value of the natural mortality has been dealt always constant. In case tagging was employed as a method of study, these foundamental assumptions have not been altered basically.

However, even if the variation of the recruitment caused by the environmental factors is disregarded, and only the mortality rates are taken into consideration, the practical examples hitherto adopted such as Japanese sardine (*Sardinops melanostitca L.*) fisheries, frequently give us rather unpractical results, such as the negative values the natural or fishing mortality rates, unpractically high values of them, or sometimes, the range of the estimated values are too big to apply the practical fisheries.

Such cases are frequentry seen in the migratory fishes which move in bulk to and from the fishing grounds.

Thus it becomes neccessary to introduce "availability" which was defined by MARR as the ratio between the number of the fish in the fishing ground to the whole population size, into the mathematical model of fish population.

For this purpose, the pattern of the migration to and from the fishing ground was firstly considered as a simple harmonic form. The magnitudes of the parameters determining the function, and the mortality rates both natural and fishing cause complicated features of the pattern of the change of catch per unit effort.

Secondly, the occasions were dealt in which no specific patterns are determined,

assuming only their average as zero, with practical examples of the trawl fisheries in the south-western district of the Japan Sea, and as well, in the East-China Sea. But no satisfactory results could be obtained.

(II) Furthermore, the basic idea of the availability was extended so as to deal the mathematical model of the population, in which only a part of the population can be in scope of the fisheries, or in other words, the value of the availability is less than one.

The conception of the availability has been recognized emprically by both scientists and the fishing industrial people. The mechanism of the variation of the availability can be classified, (a) by the variance of the biological reactions between fishes and gears, and (b) the change of the area available to fisheries according to the hydrographic conditions. In some occasions, the apparent change seen in the age composition can be interpreted as the fluctuation of the availability.

The practical examples were shown by the sardines in the both coasts of the Pacific Ocean (*Sardinops melanosticta and S. caerulea*) and in addition, the SOHACHIGAREI (*Cleisthenes herzensteini*) in the Japan Sea.

When the value of the availability is less than one, the relationship between the fishing effort and the total mortality coefficient is not linear, but the following expression stands, $Z=M-\log\left[re^{-\hat{q}X}+(1-r)\right]$ Here, Z, M, X, and $\hat{q}$ represent total mortality coefficient, natural mortality coefficient, fishing effort, and the "catchability coefficient" respectivelly. The notation r represents the availability thus defined. (WIDRIG, 1954)

Assuming r to have an average value, and as F, $\hat{q}$, and M as the unknown parameters of the equation, the most probable values of the unknowns can be obtained by numerical solution. Thus from the residuals obtained by placing the computed solutions into the original equations, the ratios of the availability of the two successive seasons can be obtained. From these values, the availability of each season could be obtained by practical examples of the California sardine (*Sardinops caerulea*).

The actual space of the fishing ground operatad seems to associate to some extent to the estimated values of the availability, although the train of the data is not long enough.

Furthermore the availability of each specific year class of the same spiece of fish was obtained by comparing the value of the total mortality coefficient which had been obtained by the pooled data to those of the speficic year class.

The availability which is defined, as have been mentioned above, as the ratio of the number of fish in the fishing ground to the total population, can be categorized as follows in considering its pattern of variation by the fishing season.

(1) Type-I;——It is defined as the ratio of the area of fishing ground to that of the whole distribution of the fish. Here the latter and the spacial density of the fish are dealt as constant.

(2) Type-II;——The space of the fishing ground is constant in each season. So the ratio of the number of fish in the ground to the whole population changes the density of fish. In this case, the value of the availability is the ratio of the density of fish at some specific case to the ideal case where all fish are gatherd in the fishing ground.

The two types listed above are dealt under the assumption that the spacial density of fish inside and outside of the fishing groundare same. While, two more cases are also

considered, namely;

(3) Type-III;——The change of the availability is caused by the change of the area of the fishing ground, accompanied with the change of density; and Type-IV; the density of fish inside and outside of the fishing ground differs. In either case, the definition of the availability is as above.

The value of the catchability per effort $\hat{q}$ becomes $1/r$ times when the value of the availability Type-I is r; whereas it does not change when the availability is of Type-II.

Therefore the fishing mortality coefficient upon the total population is not influenced by the change of the availability Type-I, while it is proportional to the availability Type-II. As to the fishing mortality coefficient upon the available part of the population, however, it is inversely proportional to the availability of Type-I and is not affected by that of Type-II.

The value of the total mortality coefficient Z, amount of catch in number C, and exploitation rate E are also affected by the availability of each type. The effect upon the value of E by the availability of Type-I is rather slighter than that of Type-II one. Therefore the change of the availability of Type-II affects the fishing mortality even when no remarkable change exists in the amount of fishing effort.

Practically, however, the change of the availability of Type-I, which is caused by the change of the space of the fishing ground will invite the change of the amount of fishing effort it affords.

In case of Type-III availability, its variation is considered to be caused, as in the case of the exploitation of new fishing ground, by whether a favorable part of the fishing ground with high density is included or not. In this case the exploitation rate is inversely proportional both to the ratio between the area of available fishing ground and that of the whole distribution of the fish, and proportional to the ratio of the of the actual abundance within the ground and the whole.

The variation of the availability of Type-IV can be mathematically converted to that of the availability of Type-II.

As to the discrepancy between the apparent survival rate, which is obtained from the ratio of the amounts of catch per effort of the two successive years, and the actual one, the results as follow are obtained.

(1) Type-I;——The apparent survival rate is equal to the actual one.

(2) Thpe-II and IV;——The actual survival rate is the product of the actual one and the ratio of the availabilities of the two successive seasons.

(3) Type-III;——The actual survival rate is the product of the actual one, the reciprocal of the ratio of the area of available fishing grounds, and the ratio of the actual availabilities. The situation differes as to whether the denser part of the distribution lies at the margin of the fishing ground (Type-IIIA) or at the center of it (Type-IIIB).

Type-IIIB can be dealt similarly to the variation of the availability of Type-II.

Thus, the availability can be estimated from the change of the survival rate by each fishing season. But, to mesure it directly is impossible unless the sufficient survey has been done on the distribution as far as beyond the fishing ground.

As a lucky example, the availability of the large sardine in the Japan Sea was

measured by comparing the distribution of spawning adults, conjected by the spawning survey, to the area where the fisheries are operated. The value is figured somewhat around 30 %; the estimated value obtained by the discussed analysis was around 50 %.

In some fisheries the statistics have been compiled by the location of fishing grounds, where, the types of the availability was judged from the patterns of the variation of the catch per effort.

The sardine in the Pacific, saury fisheries in the Pacific coast of Honshu, and the trawl fisheries in the western Japan Sea, the availability seems to belong to Type-IIIA or Type-I, while the trawl fisheries in the East China Sea is considered to be categorized to Type-II.

(III) When the area of the fishing ground varies by season, the space integral of the value of catch per effort throughout the whole ground is more preferable as the index of the population size.

The apparent survival rate by means of this index can be dealt likewise with the case when Type II availability varies.

As to the case of the migratory fish, when the same individual fish does not stay in the fishing ground, but alters by and by, the survival rate obtained from the value of catch per effort does not invite any bias when the total duration of the fishing season, and as well, the stay of each individual fish in the fishing ground are same every season. While, the fishing mortality coefficient obtained from the linear regression of the amount of effort to the total mortality coefficient includes the length of stay τ as a multiplying factor, namely, it is τF.

As to the large sardine in the Japan Sea, the ratio of the length of the each individual fish's stay in the fishing ground against the total length of the fishing season seems 1/6 through 1/10, and $F\tau=0.12$ through 0.43. This value is comparable to that obtained from the result of the spawning survey, $F=0.13$ through 0.23.

If the fishing season is only a part of a year, the value of q and M are not affected, while E is underestimated, although the bias is not so large as seen in the example of the californian sardine. It is likewise when the natural mortality occurs at once.

The ratio of the length of the stay of individual fish in the ground to that of the whole season which is caused by the alternation of fish as seen in the former example is defined as the "Time availability of Type-I" while the ratio of the length of the fishing season to the whole year is defined as the "Time availability of Type-II".

The change of the Type-I time availability affects the vulue of exploitation rate, while that Type-B does only slightly in a example dealt here.

As a special case of the Type-I availability, the case was discussed when the shift of the fishing ground is caused by the movement of fish. When the fish proceeds in constant velocity, the integral value of the catch per effort throughout the whole area of the fishing ground and the length of the fishing season is less than the actual value because only some part of the fish school can be observed throughout the fishing season. Then, it is $2v\int_0^l\left[\int_0^\tau c(t)\,dx \Big/ l\int_0^l c(x)dx\right]$ times of the actual abundance. Here, l, $c(x)$ represent the velocity of the processios, length of the fishing ground, and the value of catch per effort at the place (X) respectivelly.

In the fishing ground of large sardine off Niigata Prefecture the practical example

was dealt under the assumption the procession of fish exists. The apparent value of the survival rate in the season of 1953 to 54 is 11/8 times as big as the virtual value.

In fact, the movement of fish is not continous, but it is general manner that, when a new fishing ground is generated, the old one does not change its position, but the member of it migrate toward the newground gradually. In this case the relationship, $Ac_a+Bc_b=Nq_0$ stands between c_a c_b (the value of catch per effort in both grounds), and the areas of the ground A, B, q_0 represents the value of the catchability per unit area.

From this expression, the ratio between the areas of each ground can be obtained. In applying this method to the sardine fisheries in two prefectures along the Japan Sea, the difference between the measured ratio and the actual one was somewhat 10 to 20 %.

(4) As one of the hypothesis which explain the drop of the catchability coefficient, fishing effort is considered to cause the change of the biological availability (vulnerability) which is, for example, shown as the form of the ecological depletion of fishing ground suggested by UCHIHASHI; in addition to the conventional fishing mortality.

In this case, some descrepancy is caused between the accumulated value of fishing efforts empoyed in DE LURY'S method, and the value of catch per effort. Practical example was tried as to the fishing ground of surrounding net fisheries in San-In district. But the numeracal solution was not available,

(5) Lastly, the availability analysis was applied to diagnose the fisheries and the forecasting the population situs. Assuming the natural and fiishing mortality as constant, and taking the growth into account, and the effect of the change of the availability upon the equibrium yield per recruitment was discussed. The optimum value may exist for the value of the availability, according to the magnitude of the grwth rate, natural mortality rate, and fishing mortality coefficients.

Two practical examples of application were shown.

(1) On the possibility of the exploitation of sardine fisheries in Baja California, Mexico by means of founding of new fisheries bases.

The average value of the availability of the fisheries is, under present level of the fisheries, around 0.25. When the area fishing ground, and as well, the amount of effort is raised, the increase of the availability, up to 50 % may raise the yield. However, the increase of the availability beyond this level would not raise the yield any more.

In general, the younger the age at the first capture is, the more profitable the fisheriesis. But when the value of the availability approaches to one, I-age may be adequate as the first capture.

The increase of the availability is higher when the first age of capture is high.

(2) The average availability of the large sardine in the Northern Japan Sea is aroud 0.5. The exploitation rate is affected more significantly by the change of the availability than by the fishing efforts.

However, judging from the estimated value of the natural mortality at present level, the fishing is not so heavy as to deplete the old sardine even if value of the availability approaches to one.

Moreover, even if the fishing mortality coefficient may be raised five times as big as the present value by means of the introduction of more efficient type of gear like

surrounding nets, the amount of yeild may be raised in accordance with the value of the availability and fishing mortality. Thus the fishing management to secure the optimum yield by controling these value seems impossible.

However, when the value of the avalability is high enough, it is not a good policy economically to increase the strength of fishing. Moreover, the increase of the yield can be expected, at present situation, only when the recuitment could increase.

(3) The application to the forecasting of the fisheries.

The estimated value of the availability of the sardine fisheries in the northern Japen Sea has been found to approach to one when the stream axis is perpendiculer to the coast, while it does not exceed 40 % when it is parallel to it. This principle can be applied to forecast the availability by means of the hydrographical survey.

The value of availability up to two years before the season in questien can be obtained by the calculation discussed above. Therefore by combining them to those estimated by the hydrogrographical surveys of the two successive seasons, the apparent value of the survival rate to the year in question can be computed, thus the prediction of the amount of catch per effort of old fishes can be made.

The prediction of the recruiting young fishes cannot be made by this method. Another method such like the survey of the abundance of youngs or larvae might be required.

As to the season of sardine in 1959. the value of catch per trip of 3-age and older was forcasted as 2.3×10^3, 12 % less than the actual one.